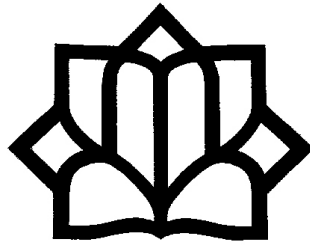


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کاشان  
دانشکده مهندسی  
گروه مهندسی شیمی

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد  
در رشته مهندسی شیمی

عنوان :

**طراحی و بهینه سازی مخازن تحت فشار نانو کامپوزیتی**

**به منظور ذخیره سازی گاز طبیعی**

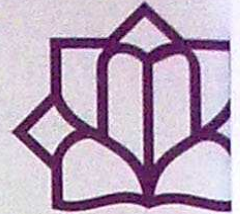
استاد راهنما :

دکتر ابراهیم نعمتی لای

به وسیله :

احسان سنجری

مرداد ماه ۱۳۹۰



دانشگاه کاشان  
دانشکده مهندسی

تاریخ:  
شماره:  
پوست:

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صور تجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجوی:	احسان سنجری	شماره دانشجویی:	۸۸۱۳۵۴۰۲۰۳
رشته:	مهندسی شیمی	دانشکده:	مهندسی
عنوان پایان نامه:	طراحی و بهینه سازی مخازن تحت فشار نانو کامپوزیتی به منظور ذخیره سازی گاز طبیعی		
تعداد واحد پایان نامه:	۶ واحد	تاریخ دفاع:	۹۰/۵/۱۸

این پایان نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارائه می گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۹۰/۵/۱۸ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۱۹/۷۵ و درجه ۱۰ به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	دکتر ابراهیم نعمتی لای	استادیار	
۳. متخصص و صاحب نظر از دکترا	دکتر محسن محسن نیا	استاد	
۴. متخصص و صاحب نظر از دکترا	دکتر عبدالله ایرانخواه	استادیار	
۵. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر سعید سلطانی محمدی	استادیار	

کاشان - بلوار قطب روانی

تلفن: ۵۱۱۶۷ - ۸۷۳۱۷

۵۵۵۹۲ - دورنگار ۵۵۵۹۳

http: www.kashan

## چکیده

با توجه به وجود مشکلات و پر هزینه بودن انتقال گاز طبیعی به نقاط دور دست توسط خط لوله ، امروزه از مخازن تحت فشار گاز طبیعی برای ذخیره ،انتقال و جابجایی آن استفاده می شود . به همین دلیل طراحی این نوع مخازن از اهمیت ویژه ای برخوردار است . عوامل ترمودینامیکی و مکانیکی می توانند تأثیر به سزایی در چگونگی این طراحی داشته باشند. در کار حاضر در زمینه ترمودینامیک گاز طبیعی، عواملی همچون تأثیرات افزودن هیدروژن به ترکیبات گازی مختلف و همچنین انواع روش های محاسبه ضریب تراکم پذیری که یکی از عوامل مهم در بهینه سازی مخزن می باشد، بررسی شده است. همچنین دو روش جدید و کارآمد شامل یک معادله نیمه تجربی و نیز ساخت یک شبکه عصبی مصنوعی در زمینه محاسبه ضریب تراکم پذیری ارائه شده و نتایج حاصل از آن ها برای بیش از ۶۰۰۰ داده تجربی با روش های موجود از جمله معادلات حالت ترمودینامیکی (PR و SRK)، معادلات حالت آماری (SAFT، AGA8 و ...)، و معتبرترین معادلات نیمه تجربی موجود، مقایسه گردیده است.

یکی دیگر از عوامل مهم در بهینه سازی مخزن ذخیره سازی گاز طبیعی، عوامل مکانیکی از جمله تنش های مواد سازنده مخزن و نیز جنس این مواد می باشد که در این کار سعی شده است با بررسی کامپوزیت ها و نانوکامپوزیت های مختلف و جایگزینی نیمی از فلز سازنده مخزن با این مواد، علیرغم هزینه اولیه بالاتر، بخش قابل توجهی از وزن مخزن کاهش یافته و به تبع آن باعث سهولت حمل و نقل و کاهش هزینه های جاری آن گردد.

**کلمات کلیدی:** گاز طبیعی، مخازن تحت فشار، ضریب تراکم پذیری، هیدروژن، کامپوزیت، نانو

کامپوزیت

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که همواره یار و غمخوار من بوده اند

## مشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا بر خود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار به ویژه

اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مراد تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند تقدیر و مشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر ابراهیم نعمتی که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان نامه

تقبل نموده‌اند نهایت مشکر و سپاسگزاری را دارم.

همچنین از لطف و همکاری جناب آقای پروفسور محسن محسن‌نیا و جناب آقای دکتر عبدالمنعم ایرانشاه که به عنوان داور، این پایان

نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاع شرکت نموده‌اند مشکر می‌نمایم.

در پایان از جناب آقای دکتر سعید سلطانی محمدی که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند سپاسگزاری

می‌نمایم.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	چکیده
۱.....	<b>فصل اول: روش های انتقال گاز طبیعی.....</b>
۲.....	۱-۱- مقدمه.....
۵.....	۲-۱- خط لوله.....
۶.....	۳-۱- گاز طبیعی مایع شده (LNG).....
۸.....	۴-۱- تبدیل گاز به مایع (GtL).....
۹.....	۵-۱- تبدیل گاز به کالاهای شیمیایی (GtC).....
۱۰.....	۶-۱- انتقال انرژی گاز به صورت توان (GtW).....
۱۱.....	۷-۱- گاز طبیعی فشرده CNG.....
۱۲.....	۸-۱- تبدیل گاز به جامد (GtS) یا هیدرات گاز طبیعی.....
۱۳.....	۹-۱- گاز طبیعی جذب شده (ANG).....
۱۵.....	<b>فصل دوم: عوامل مؤثر در بهینه سازی گاز طبیعی.....</b>
۱۶.....	۱-۲- تأثیر افزودن هیدروژن به ترکیبات گاز طبیعی.....
۱۸.....	۲-۲- ضریب تراکم پذیری.....
۲۰.....	۱-۲-۲- معادلات حالت ترمودینامیکی.....



صفحه

عنوان

۲۰	Peng-Robinson حالت معادله ۱-۱-۲-۲
۲۱	Soave-Redlich-Kwang حالت معادله ۲-۱-۲-۲
۲۲	Virial ویریل ۳-۱-۲-۲
۲۲	معادلات حالت آماری ۲-۲-۲
۲۳	معادله حالت انجمن گازی آمریکا (AGA8-DC92) ۱-۲-۲-۲
۲۴	GERG-2004 حالت معادله ۲-۲-۲-۲
۲۵	SAFT حالت معادله ۳-۲-۲-۲
۲۵	معادلات تعمیم یافته ۳-۲-۲
۲۶	معادلات نیمه تجربی ۴-۲-۲
۲۷	Dranchuk-Abu Kassem روش ۱-۴-۲-۲
۲۸	Dranchuk-Purvis-Robinson روش ۲-۴-۲-۲
۲۹	Hankinson-Thomas-Phillips روش ۳-۴-۲-۲
۳۰	Hall-Yarborough روش ۴-۴-۲-۲
۳۱	Heidaryan-Salarabadi-Moghadasi روش ۵-۴-۲-۲
۳۱	شبکه عصبی ۵-۲-۲
۳۴	ساختار مخزن تحت فشار ۳-۲
۳۴	جنس مخزن ۱-۳-۲



۳۶.....۲-۳-۲ ضخامت مخزن.....

### ۳۹..... فصل سوم: مدل‌سازی ترمودینامیکی.....

۴۰.....۱-۳ بررسی اثرات افزودن هیدروژن.....

۴۰.....۱-۱-۳ کاهش ارزش حرارتی در اثر تزریق هیدروژن.....

۴۳.....۲-۱-۳ شاخص واب.....

۴۵.....۳-۱-۳ جریان انرژی.....

۴۸.....۴-۱-۳ تغییرات افت فشار در خط لوله با افزایش میزان هیدروژن.....

۵۰.....۵-۱-۳ تغییرات در استوکیومتری احتراق.....

۵۱.....۶-۱-۳ نسبت هیدروژن به میزان کربن (H/C)، مؤثر در کاهش انتشار اکسیدهای کربن.....

۵۲.....۷-۱-۳ تأثیر افزودن هیدروژن به گاز طبیعی در سرعت خروجی گاز از مشعل ها.....

۵۵.....۲-۳ محاسبه ضریب تراکم پذیری.....

۵۵.....۱-۲-۳ ارائه یک رابطه نیمه تجربی به منظور محاسبه ضریب تراکم پذیری.....

۶۶.....۲-۲-۳ استفاده از شبکه عصبی به منظور تخمین ضریب تراکم پذیری.....

### ۷۳..... فصل چهارم: طراحی و بهینه سازی مخازن تحت فشار گاز طبیعی.....

۷۴.....۱-۴ مقدمه.....

**صفحه****عنوان**

۷۴.....	۲-۴- بررسی مواد مختلف برای ساخت مخزن.....
۷۵.....	۱-۲-۴- مواد فلزی.....
۷۵.....	Steel-AISI-1040 -۱-۱-۲-۴.....
۷۷.....	Aluminium-6061-T6 -۲-۱-۲-۴.....
۷۹.....	۲-۲-۴- مواد کامپوزیتی و نانوکامپوزیتی.....
۷۹.....	E-Glass کامپوزیت -۱-۲-۲-۴.....
۸۰.....	Kevlar کامپوزیت -۲-۲-۲-۴.....
۸۱.....	۳-۲-۲-۴- نانوکامپوزیت کربنی.....
۸۲.....	۳-۴- طراحی مخزن تحت فشار.....
۸۲.....	۱-۳-۴- مخازن تک لایه.....
۹۷.....	۲-۳-۴- مخازن دو لایه کامپوزیتی و نانو کامپوزیتی.....
۱۱۹.....	<b>فصل پنجم: نتیجه گیری.....</b>
۱۲۲.....	<b>منابع و مأخذ.....</b>
۱۲۸.....	<b>چکیده انگلیسی.....</b>
۱۲۹.....	<b>مقالات منتشر شده مستخرج از پایان نامه.....</b>

## فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳- مقایسه بین خواص فیزیکی هیدروژن و متان.....	۴۱
جدول ۲-۳- ترکیبات و وزن مخصوص سه گاز طبیعی.....	۴۲
جدول ۳-۳- ضرایب ثابت معادلات ۳-۹ تا ۳-۱۲.....	۵۳
جدول ۴-۳- جدول ضرایب معادله.....	۵۷
جدول ۵-۳- مشخصات کلی گازهای طبیعی بررسی شده .....	۵۸
جدول ۶-۳- میزان خطای مدل های مختلف ضریب تراکم پذیری برای هر نمونه گاز طبیعی...۶۰	۶۰
جدول ۷-۳- ترکیبات ۱۰ گاز طبیعی ذکر شده در جدول ۳.....	۶۱
جدول ۸-۳- پارامترهای آماری مدل ارائه شده در مقایسه با دیگر روش های موجود برای داده های تجربی.....	۶۲
جدول ۹-۳- میزان خطای شبکه عصبی و معادله ارائه شده.....	۷۱
جدول ۱-۴- انواع کربن استیل های SAE-AISI.....	۷۶
جدول ۲-۴- انواع آلیاژهای آلومینیم.....	۷۸
جدول ۳-۴- مشخصات مکانیکی فولاد و آلومینیم.....	۷۸
جدول ۴-۴- خواص Aluminum-6061-T6.....	۷۹
جدول ۵-۴- خواص فیزیکی فیبرهای کامپوزیتی.....	۸۱
جدول ۶-۴- مشخصات فیزیکی دو نوع نانولوله کربنی.....	۸۲

## عنوان

## صفحه

جدول ۴-۷- مشخصات دو گاز سبک و سنگین (درصد).....	۸۴
جدول ۴-۸- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سبک در مخزن استیل در دمای ۰ و ۱۵ °C.....	۸۵
جدول ۴-۹- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سبک در مخزن استیل در دمای ۲۵ و ۴۰ °C.....	۸۶
جدول ۴-۱۰- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سنگین در مخزن استیل در دمای ۰ و ۱۵ °C.....	۸۷
جدول ۴-۱۱- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سنگین در مخزن استیل در دمای ۲۵ و ۴۰ °C.....	۸۸
جدول ۴-۱۲- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سبک در مخزن آلومینیمی در دمای ۰ و ۱۵ °C.....	۹۰
جدول ۴-۱۳- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سبک در مخزن آلومینیمی در دمای ۲۵ و ۴۰ °C.....	۹۱
جدول ۴-۱۴- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سنگین در مخزن آلومینیمی در دمای ۰ و ۱۵ °C.....	۹۲
جدول ۴-۱۵- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سنگین در مخزن آلومینیمی در دمای ۲۵ و ۴۰ °C.....	۹۳

## عنوان

## صفحه

جدول ۴-۱۶- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سبک در مخزن فولاد/E-glass در دمای ۰ و ۱۵°C.....	۱۰۰
جدول ۴-۱۷- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سبک در مخزن فولاد/E-glass در دمای ۲۵ و ۴۰°C.....	۱۰۱
جدول ۴-۱۸- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سنگین در مخزن فولاد/E-glass در دمای ۰ و ۱۵°C.....	۱۰۲
جدول ۴-۱۹- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سنگین در مخزن فولاد/E-glass در دمای ۲۵ و ۴۰°C.....	۱۰۳
جدول ۴-۲۰- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سبک در مخزن فولاد/Kevlar در دمای ۰ و ۱۵°C.....	۱۰۳
جدول ۴-۲۱- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سبک در مخزن فولاد/Kevlar در دمای ۲۵ و ۴۰°C.....	۱۰۶
جدول ۴-۲۲- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سنگین در مخزن فولاد/Kevlar در دمای ۰ و ۱۵°C.....	۱۰۷
جدول ۴-۲۳- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سنگین در مخزن فولاد/Kevlar در دمای ۲۵ و ۴۰°C.....	۱۰۸
جدول ۴-۲۴- نتایج حاصل از محاسبات مربوط به ذخیره گاز سبک در مخزن فولاد/Nanotube در دمای ۰ و ۱۵°C.....	۱۱۰

## عنوان

## صفحه

جدول ۴-۲۵- نتایج حاصل از محاسبات ذخیره گاز سبک در مخزن فولاد/Nanotube در دمای

۲۵ و ۴۰ °C ..... ۱۱۱

جدول ۴-۲۶- نتایج حاصل از محاسبات ذخیره گاز سنگین در مخزن فولاد/Nanotube در دمای

۰ و ۱۵ °C ..... ۱۱۲

جدول ۴-۲۷- نتایج حاصل از محاسبات ذخیره گاز سنگین در مخزن فولاد/Nanotube در دمای

۲۵ و ۴۰ °C ..... ۱۱۳

## فهرست نمودارها

عنوان	صفحه
نمودار ۱-۳- کاهش ارزش حرارتی گاز طبیعی در اثر افزودن هیدروژن.....	۴۳
نمودار ۲-۳- چگونگی تغییرات شاخص واب به عنوان تابعی از هیدروژن افزوده شده.....	۴۵
نمودار ۳-۳- جریان انرژی مخلوط هیدروژن-گاز طبیعی با افت فشار ثابت.....	۴۷
نمودار ۴-۳- افت فشار در خط لوله گاز طبیعی با محتوای مختلف هیدروژن.....	۵۰
نمودار ۵-۳- نسبت H/C مخلوط هیدروژن-گاز طبیعی با مقادیر مختلف هیدروژن.....	۵۱
نمودار ۶-۳- تغییرات در سرعت خروجی گاز از مشعل در طی افزودن هیدروژن به گاز.....	۵۴
نمودار ۷-۳- میزان دقت مدل ارائه شده در تخمین ضریب تراکم پذیری ۶۰۰۰ داده تجربی.....	۵۹
نمودار ۸-۳- فراوانی تجمعی میزان خطای مطلق (%AARD) برای مدل های مختلف در محاسبه ضریب تراکم پذیری.....	۶۴
نمودار ۹-۳- میزان خطای شبکه ها مختلف با تعداد عصب های مختلف.....	۶۷
نمودار ۱۰-۳- مقایسه بین داده های تجربی و نتایج خروجی حاصل از شبکه.....	۶۹
نمودار ۱۱-۳- نمودار تجمعی برای شبکه عصبی و معادله ارائه شده.....	۷۰
نمودار ۱-۴- منحنی های ایزوترم برای گاز سبک در مخزن استیل.....	۸۹
نمودار ۲-۴- منحنی های ایزوترم برای گاز سنگین در مخزن استیل.....	۸۹
نمودار ۳-۴- منحنی های ایزوترم برای گاز سبک در مخزن آلومینیمی.....	۹۴
نمودار ۴-۴- منحنی های ایزوترم برای گاز سنگین در مخزن آلومینیمی.....	۹۴



## عنوان

## صفحه

- نمودار ۴-۵- نمودار هزینه تمام شده به دلار بر حسب فشار مخزن..... ۹۶
- نمودار ۴-۶- نمودار جرم فلز مخزن بر حسب فشار مخزن..... ۹۶
- نمودار ۴-۷- منحنی های ایزوترم برای گاز سبک در مخزن فولاد/ E-glass..... ۱۰۴
- نمودار ۴-۸- منحنی های ایزوترم برای گاز سنگین در مخزن فولاد/ E-glass..... ۱۰۴
- نمودار ۴-۹- منحنی های ایزوترم برای گاز سبک در مخزن فولاد/ Kevlar..... ۱۰۹
- نمودار ۴-۱۰- منحنی های ایزوترم برای گاز سنگین در مخزن فولاد/ Kevlar..... ۱۰۹
- نمودار ۴-۱۱- منحنی های ایزوترم برای گاز سبک در مخزن فولاد/ Nanotube..... ۱۱۴
- نمودار ۴-۱۲- منحنی های ایزوترم برای گاز سنگین در مخزن فولاد/ Nanotube..... ۱۱۴
- نمودار ۴-۱۳- نمودار هزینه تمام شده به دلار بر حسب فشار مخزن..... ۱۱۵
- نمودار ۴-۱۴- نمودار جرم فلز مخزن بر حسب فشار مخزن..... ۱۱۵
- نمودار ۴-۱۵- نمودار کمیت نسبت جرم برای انواع مختلف مخزن در  $25^{\circ}\text{C}$ ..... ۱۱۶
- برای گاز سبک
- نمودار ۴-۱۶- نمودار کمیت نسبت جرم برای انواع مختلف مخزن در  $25^{\circ}\text{C}$ ..... ۱۱۷
- برای گاز سنگین

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۴.....	شکل ۱-۱- روش های انتقال گاز.....
۳۲.....	شکل ۱-۲- ساختار کلی شبکه عصبی.....
۶۸.....	شکل ۱-۳- نمایی از ساختار شبکه.....
۸۰.....	شکل ۱-۴- ساختار کولار (Kevlar).....
۹۵.....	شکل ۲-۴- نمونه ای از نوارپیچی فیلامنتی بر روی مخازن فلزی.....
۹۶.....	شکل ۳-۴- نمونه ای از مخازن کامپوزیتی چند لایه.....

## فهرست علائم و اختصارات (Abbreviations)

$\rho_r$	reduced density
$\psi$	ratio of the mas of the gas to the mass of the shell
$\tau$	inverse reduced mixture temperature
$\delta$	reduced mixture density
$a$	Helmholtz free energy
A, C, b, k, u	constant parameter
B	second virial coefficient
C.A.	corrosion allowance
D	reduced density
$D_{in}$	Internal Diameter
E	Joint Efficiency
$F_{ij}$	Non-zero parameter
K	mixing size parameter
L	Length of the shell
$T_{pr}$	psedu reduced temperature
$P_{pr}$	psedu reduced pressure
$P_{pc}$	psedu critical pressure
$T_{pc}$	psedu critical temperature
Y	reduced density
S	Maximum allowable tensile stress
t	reciprocal of psedu reduced temperature, thickness
Z	compressibility factor
assoc	Association
calc	calculation
exp	experimental
seg	segment
AGA	American Gas Association
DA	Drunchuk and Abu-Kassem Method
DPR	Drunchuk-Purvis_Robinson method
GERG	Groupe Européen de Recherches Gazières
HMS	Heidaryan-Moghaddasi-Salarabadi
HTP	Hankinson-Thomas-Philips Method
HY	Hall-Yarborough Method
N.G.	Natural Gas
NRTL	Non-Random-Tow-Liquid

PR Peng-Robinson Equation of State  
S.G. Specific Gravity  
UNIQUAC Univeral Quasi Chemical  
UNIFAC UNICUAC Functional-group Activity Coefficients

## **فصل اول**

# **روش های انتقال گاز طبیعی**