PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای علیرضا عظیمی رساله ۲٤ واحدی خود را **با عنوان به کارگیری فرآیندهیدرات شدن درجداسازی اجزای گازطبیعی مدل** در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۲۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی شیمی – مهندسی شیمی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر مهرداد منطقیان	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر جعفر توفیقی داریان	استاد	
استاد ناظر	دکتر حسن پهلوانزاده	استاد	
استاد ناظر	دکتر محسن وفایی سفتی	استاد	
استاد ناظر	دکتر داریوش باستانی	استاد	
استاد ناظر	دکتر فرشاد ورامینیان	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حسن پهلوانزاده	استاد	

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب..علیرضا عظیمی.دانشجوی رشته..مهندسی شیمی... ورودی سال تحصیلی.....۱۳۸۴-۱۳۸۵..... مقطع .دکتری.... دانشکده ..مهندسی شیمی.. متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:.....

تاریخ: ۸۹/۱۲/۲۱

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی شیمی است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر مهرداد منطقیان و مشاوره جناب آقای دکتر جعفر توفیقی داریان از ان دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب علیرضا عظیمی دانشجوی رشته مهندسی شیمی مقطع دکترا تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

علیرضا عظیمی

تاریخ و امضا: ۸۹/۱۲/۲۱

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

دانشکده : مهندسی شیمی

رساله دکتری رشته: مهندسی شیمی

بکارگیری فرآیند هیدرات شدن در جداسازی اجزای گاز طبیعی مدل

نام دانشجو:

علیرضا عظیمی

استاد راهنما:

دکتر مهرداد منطقیان

استاد مشاور:

دکتر جعفر توفیقی

اسفند 1389

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تقدیم به

همسر خوب و فداکارم

که در تمام مدت تحصیل یار و یاورم بوده است.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تشکر و قدر دانی

خداوند بزرگ را سپاس می گویم که در تمامی مراحل زندگی و تحصیل یاریگرم بوده و هست. اکنون که به یاری پروردگار این رساله به پایان رسیده است، بر خود لازم می دانم که از زحمات فراوان راهنمایی های راه گشا و کمک های دلسوزانه استاد بزرگ و فرزانه جناب آقای دکتر مهرداد منطقیان که زحمت راهنمایی این رساله را عهده دار بودند تشکر نمایم.

از جناب آقای دکتر جعفر توفیقی که بعنوان استاد مشاور یاریگرم بودند صمیمانه قدر دانی می کنم.

از اساتید محترم دانشکده مهندسی شیمی خصوصا جناب آقای دکتر محسن وفایی سفتی بسیار سپاسگذارم.

از جناب آقای دکتر علی زنوزی که زحمت ساخت دستگاه تشکیل هیدرات را بر عهده داشتند صمیمانه تشکر می کنم.

همچنین زحمات همکاران عزیزم در آزمایشگاه جداسازی آقایان رضا درستی، ابولفضل محمدی، محمود موسوی، جمشیدی، اکبر خدایی و همچنین دوست عزیز و فرزانه آقای مهدی جزایری را ارج می نهم و توفیق روز افزون همه عزیزان را از خداوند متعال مسئلت می نمایم.

علیرضا عظیمی

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

عنوان **شماره صفحه**

فهرست علائم و نشانه ها .....ه

فهرست جداول .....ح

فهرست اشکال..... ..... ی

فصل اول: مقدمه ای از هیدرات گازی 1

1-1 مقدمه 1

2-1 تاریخچه کشف هیدرات 3

3-1 ساختار هیدرات 5

1-3-1 امکان انتقال ساختار 7

2-3-1 تشکیل ساختار II هیدرات از مخلوط های متان و اتان 8

4-1 کاربردهای هیدرات گازی 8

1-4-1 جذب دی اکسید کربن از هوا.....9

2-4-1 فرآیند جداسازی از مخلوط گازها 9

3-4-1 ذخیره سازی و انتقال گاز طبیعی 10

4-4-1 مخازن سرمایی 10

5-1 فرآیند تشکیل هیدرات و عوامل مؤثر بر آن 10

1-5-1 پدیده حافظه 11

2-5-1 اثر پُل 11

5-5-1 کاهش فشار تشکیل هیدرات.....11

6-1 معرفی مدل های سینتیکی در زمینه رشد، هسته زایی و تجزیه هیدرات 12

فصل دوم : روشهای جداسازی دی اکسید کربن از متان.....14

1-2 مقدمه.....14

2-2 کاربرد های جداسازی دی اکسید کربن.....14

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فهرست مطالب **شماره صفحه**

3-2 روشهای جداسازی دی اکسید کربن از متان 15

2-3-1 جذب شیمیایی 15

2-3-2 جذب فیزیکی 16

2-3-3 جداسازی با عملیات سرمازایی 16

2-3-4 جذب سطحی 16

2-3-5 استفاده از غشاء پلیمری 17

فصل سوم: مدلسازی 19

3-1 ارائه مدل برای تعیین زمان القای کریستالیزاسیون هیدرات متان و CO_2 19

3-2 ارائه مدل جهت تعیین کشش سطحی هیدرات متان و CO_2 21

3-3 ارائه مدل جهت تعیین درجه هسته زایی کریستالیزاسیون هیدرات متان و CO_2 24

3-3-1 سینتیک هسته زایی اولیه 24

3-3-2 هسته زایی ثانویه 25

3-4 استفاده از معادله حالت پنگ رابینسون برای محاسبه تعداد مول ها 26

3-5 محاسبه ظرفیت ذخیره سازی هیدرات 27

3-6 گزینش پذیری جداسازی متان و دی اکسید کربن 28

فصل چهارم: تجربی 30

4-1 شرح دستگاه تشکیل هیدرات به منظور جداسازی گازها 30

4-1-1 راکتور تشکیل هیدرات 31

4-1-2 سنسور های دما 32

4-1-3 سنسور فشار 33

4-1-4 انتقال و ثبت دما و فشار راکتور تشکیل هیدرات توسط رایانه 34

4-1-5 دوربین فیلمبرداری و عکاسی مدرن 36

4-1-6 حمام دما 36

4-1-7 همزدن راکتور تشکیل هیدرات 37

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فهرست مطالب **شماره صفحه**

4-1-7 محفظه ایمنی دستگاه تشکیل هیدرات 37

4-1-8 پمپ خلاء 37

4-1-9 دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) 38

4-1-10 رگلاتور 40

4-2 مواد 40

4-2-1 کپسول گاز متان 40

4-2-2 کپسول گاز دی اکسید کربن 40

4-2-3 کپسول گاز هلیوم 40

4-2-4 آب دیونیزه 40

4-3 شرح آزمایش 41

4-4 طراحی آزمایش ها 41

4-4-1 آزمایش های مربوط به هیدرات شدن متان 41

4-4-1-1 تعیین زمان القای کریستالیزاسیون هیدرات متان 42

4-4-1-2 آزمایش های مربوط به هیدرات شدن دی اکسید کربن 44

4-4-1-3 آزمایش های مربوط به هیدرات شدن مخلوط متان و دی اکسید کربن 45

4-4-3-1 نحوه طراحی آزمایشها 47

فصل پنجم: نتایج و بحث 50

5-1 آزمایش های مربوط به هیدرات شدن متان 50

5-1-1 تغییرات فشار و دما نسبت به زمان 50

5-1-2 تعیین کشش سطحی بین آب و هیدرات متان 64

5-1-3 تعیین درجه هسته زایی کریستالیزاسیون هیدرات متان 73

5-2 آزمایش های مربوط به هیدرات شدن CO_2 خالص 74

5-2-1 منحنی تغییرات فشار و دما نسبت به زمان در هیدرات شدن CO_2 74

5-2-2 تعیین کشش سطحی بین آب و هیدرات CO_2 84

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فهرست مطالب **شماره صفحه**

3-2-5 تعیین درجه هسته زایی کریستالیزاسیون هیدرات CO_2 92

3-5 آزمایش های مربوط به هیدرات شدن مخلوط متان و CO_2 95

1-3-5 منحنی تغییرات فشار و دما نسبت به زمان برای مخلوط متان و CO_2 در 43 بار 95

2-3-5 منحنی تغییرات فشار و دما نسبت به زمان برای مخلوط متان و CO_2 در 50 بار 105

3-3-5 منحنی تغییرات فشار و دما نسبت به زمان برای مخلوط متان و CO_2 در 60 بار 115

4-5 تعیین گزینش پذیری جداسازی متان از CO_2 125

5-5 تعیین ظرفیت ذخیره سازی هیدرات شدن 132

1-5-5 تعیین ظرفیت ذخیره سازی هیدرات شدن متان 133

2-5-5 تعیین ظرفیت ذخیره سازی هیدرات شدن دی اکسید کربن 134

3-5-5 تعیین ظرفیت ذخیره سازی هیدرات شدن مخلوط متان و دی اکسید کربن 135

6-6 تجزیه و تحلیل آماری نتایج هیدرات شدن مخلوط متان و دی اکسید کربن 145

فصل ششم: نتجه گیری و پیشنهاد ها 150

1-6 نتیجه گیری 150

2-6 پیشنهاد ها 151

مراجع 152

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

حروف انگلیسی

A ..... گزینش پذیری ، [-]

A_1 ..... شیب خط ، [-]

B ..... سرعت هسته زایی ، $[no/m^3.s]$

B^0 ..... ثابت نمایی سرعت هسته زایی ، $[no/m^3.s]$

C ..... غلظت مولی ، $[mol/m^3]$

C_S ..... غلظت مولی هیدرات ، $[mol/m^3]$

C^* ..... غلظت مولی اشباع هیدرات در آب ، $[mol/m^3]$

D ..... ضریب نفوذ ، $[m^2/s]$

k ..... ثابت بولتزمن ، $[j/K]$

K ..... ثابت ، [-]

K_b ..... ثابت هسته زایی ثانویه

m ..... شیب خط ، [-]

N ..... دور همزن

n ..... درجه هسته زایی ، [-]

N_A ..... عدد آووگادرو ، $[no/mol]$

R ..... ثابت جهانی گازها ، $[J/mol.K]$

r ..... شعاع ذرات ، $[m]$

r_c ..... شعاع بحرانی ، $[m]$

S ..... فوق اشباع ، [-]

$S.C$ ..... ظرفیت ذخیره سازی ، [-]

T ..... دما ، $[K]$

t_g ..... زمان رشد هیدرات از هسته بحرانی تا اندازه قابل آشکار شدن ، $[s]$

t_{ind} ..... زمان القا ، $[s]$

t_n ..... زمان لازم جهت تشکیل هسته بحرانی ، $[s]$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

زمان استراحت ، $[s]$ ..... t_r

حجم گاز داخل راکتور ، $[m^3]$ V

حجم گاز هیدرات شده در شرایط استاندارد ، $[m^3]$ ..... V_g

حجم هیدرات ، $[m^3]$ ..... V_h

حجم مولکولی گاز مهمان ، $[m^3]$ ..... V_m

کسر مولی حلالیت ، $[-]$ ..... x^*

تراکم پذیری گاز خالص ، $[-]$ ..... Z

تراکم پذیری مخلوط گازی ، $[-]$ ..... Z_{mix}

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

حروف یونانی

چگالی ، [kg/m^3] ..... r

کشش سطحی ، [mN/m] ..... g

انرژی آزاد گیبس هسته زایی ، [J] ..... ΔG_c

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فهرست جداول **شماره صفحه**

جدول (1-1) مشخصات فیزیکی شبکه هیدرات 6

جدول (2-1) گازهای تشکیل دهندهء هیدرات گاز طبیعی و نحوه اشغال حفره های مختلف آب توسط آنها 8

جدول (1-4) مقادیر دمای اجزای مختلف دستگاه GC بر حسب درجه سانتیگراد 40

جدول (2-4) شرایط مختلف دما و فشار برای آزمایشهای تشکیل هیدرات متان 42

جدول (3-4) شرایط مختلف دما و فشار برای آزمایشهای تشکیل هیدرات متان 45

جدول (4-4) مقادیر بیشینه و کمینه در نظر گرفته شده برای پارامترهای موثر در آزمایشها 47

جدول (5-4) معرفی متغیر های آزمایش های مخلوط متان و دی اکسید کربن و سطح تغییرات آنها 47

جدول (6-4) مشخصات آزمایش های مخلوط دوجزیی متان و دی اکسید کربن 48

جدول (1-5) شرایط آزمایشهای هیدرات شدن متان 50

جدول (2-5) مقادیر زمان القا برای آزمایش های هیدرات متان 64

جدول (3-5) مقادیر غلظت اشباع مولی هیدرات متان در آب (C^*) در شرایط شروع تشکیل هیدرات 67

جدول (4-5) مقادیر تجربی کشش سطحی هیدرات متان با استفاده از تئوری کلاسیک هسته زایی 71

جدول (5-5) مقادیر تجربی کشش سطحی هیدرات متان با استفاده از تئوری کلاسیک
هسته زایی و مقادیر محاسبه شده از روابط (3-6) و (4-6) 72

جدول (6-5) شرایط آزمایش های هیدرات شدن دی اکسید کربن 74

جدول (7-5) مقادیر زمان القا برای آزمایش های هیدرات دی اکسید کربن 84

جدول (8-5) مقادیر جزء مولی اشباع هیدرات CO_2 در آب برای هر آزمایش در لحظه شروع هیدرات 87

جدول (9-5) مقادیر غلظت اشباع مولی هیدرات CO_2 در آب در شرایط شروع تشکیل هیدرات 87

جدول (9-5) مقادیر تجربی کشش سطحی هیدرات CO_2 با استفاده از تئوری کلاسیک هسته زایی 91

جدول (10-5) مقادیر تجربی کشش سطحی هیدرات CO_2 با استفاده از تئوری کلاسیک
هسته زایی و مقادیر محاسبه شده از روابط (3-6) و (4-6) 92

جدول (11-5) شرایط آزمایش های هیدرات شدن مخلوط متان و دی اکسید کربن در 43 بار 95

جدول (12-5) شرایط آزمایش های هیدرات شدن مخلوط متان و دی اکسید کربن در 50 بار 105

جدول (13-5) شرایط آزمایش های هیدرات شدن مخلوط متان و دی اکسید کربن در 60 بار 115

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فهرست جداول **شماره صفحه**

جدول (5-14) ظرفیت ذخیره سازی آزمایش های هیدرات شدن متان 133

جدول (5-15) ظرفیت ذخیره سازی آزمایش های هیدرات شدن دی اکسید کربن 134

جدول (5-16) ضریب تاثیر پارامتر های موثر بر مدل گزینش پذیری بدست آمده از نرم افزار 145

جدول (5-17) ضریب تاثیر پارامتر های موثر بر مدل ظرفیت ذخیره سازی بدست آمده از نرم افزار 147

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فهرست اشکال **شماره صفحه**

شکل (1-1) ساختارهای هیدرات 6

شکل (2-1) نمایی از واحد تولید دی اکسید کربن 16

شکل (2-2) روشهای مختلف جداسازی دی اکسید کربن 18

شکل (1-3) نمودار مصرف گاز بر حسب زمان در فرآیند تشکیل هیدرات 20

شکل (2-3) تعیین زمان القا از روش تغییرات دما و فشار در لحظه شروع تشکیل هیدرات 21

شکل(1-4) شمای کلی دستگاه تولید هیدرات 30

شکل (2-4) شمای کلی راکتور تشکیل هیدرات 31

شکل (3-4) طراحی ابعاد راکتور تشکیل هیدرات 32

شکل (4-4) نمای داخلی راکتور تشکیل هیدرات 32

شکل (5-4) حسگر های دمای مورد استفاده در راکتور تشکیل هیدرات به همراه نمایش گرهای آن 33

شکل (6-4) حسگر فشار راکتور تشکیل هیدرات به همراه نمایشگر دیجیتالی 33

شکل (7-4) رابط بین رایانه و حسگرهای دما و فشار 34

شکل (8-4) نرم افزار خواندن و ثبت داده های دما و فشار راکتور تشکیل هیدرات در رایانه 35

شکل (9-4) نرم افزار خواندن و ثبت داده های دما و فشار راکتور تشکیل هیدرات در رایانه 35

شکل (10-4) حمام های دمای استفاده شده در دستگاه تشکیل هیدرات 36

شکل (11-4) محفظه ایمنی دستگاه تشکیل هیدرات 38

شکل (12-4) پمپ خلا استفاده شده در فرآیند تشکیل هیدرات 38

شکل (13-4) دستگاه کروماتوگرافی گازی 39

شکل (14-4) دستگاه تولید هیدروژن 39

شکل (15-4) سرنگ Gas Tide هامیلتون جهت تزریق نمونه به دستگاه GC 39

شکل (16-4) تغییرات دما و فشار برای یک آزمایش نمونه 44

شکل (17-4) تعیین زمان القا از طریق تغییرات دما و فشار 44

شکل (18-4) شرایط آزمایش های مخلوط متان و دی اکسید کربن 49

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

شکل (5-1) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (1) 51
شکل (5-2) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات
متان در آزمایش (1) 51
شکل (5-3) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (2) 52
شکل (5-4) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات
متان در آزمایش (2) 52
شکل (5-5) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (3) 53
شکل (5-6) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات
متان در آزمایش (3) 53
شکل (5-7) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (4) 54
شکل (5-8) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات
متان در آزمایش (4) 54
شکل (5-9) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (5) 55
شکل (5-10) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات
متان در آزمایش (5) 55
شکل (5-11) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (6) 56
شکل (5-12) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات
متان در آزمایش (6) 56
شکل (5-13) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (7) 57
شکل (5-14) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات
متان در آزمایش (7) 57
شکل (5-15) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (8) 58
شکل (5-16) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات
متان در آزمایش (8) 58

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

شکل (5-17) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (9) 59

شکل (5-18) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات

متان در آزمایش (9) 59

شکل (5-19) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (10) 60

شکل (5-20) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات

متان در آزمایش (10) 60

شکل (5-21) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (11) 61

شکل (5-22) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات

متان در آزمایش (11) 61

شکل (5-23) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (12) 62

شکل (5-24) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات

متان در آزمایش (12) 62

شکل (5-27) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات متان در آزمایش (13) 63

شکل (5-26) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل هیدرات

متان در آزمایش (13) 63

شکل (5-27) مقایسه زمان هسته زایی تعیین شده از مشاهده چشمی و محاسبه شده از

تغییرات دما و فشار 65

شکل (5-28) منحنی تغییرات زمان القای کریستالیزاسیون هیدرات متان بر حسب فشار اولیه 65

شکل(5-29) مقادیر آزمایشگاهی $\ln(t_{ind})$ برحسب $\frac{1}{(\ln S)^2}$ در دمای 273/15 درجه کلوین 68

شکل(5-30) مقادیر آزمایشگاهی $\ln(t_{ind})$ بر حسب $\frac{1}{(\ln S)^2}$ در دمای 273/65 درجه کلوین 69

شکل(5-31) مقادیر آزمایشگاهی $\ln(t_{ind})$ بر حسب $\frac{1}{(\ln S)^2}$ در دمای 274/65 درجه کلوین 69

شکل (5-32) مقادیر آزمایشگاهی $\ln(t_{ind})$ بر حسب $\frac{1}{T^3(\ln s)^2}$ در دمای 273/15 درجه کلوین 70

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فهرست اشکال **شماره صفحه**

شکل (5-33) مقادیر آزمایشگاهی $\ln(t_{ind})$ بر حسب $\frac{1}{T^3(\ln s)^2}$ در دمای 273/65 درجه کلوین.....70

شکل (5-34) مقادیر آزمایشگاهی $\ln(t_{ind})$ بر حسب $\frac{1}{T^3(\ln s)^2}$ در دمای 274/65 درجه کلوین.....71

شکل (5-35) مقادیر تجربی کشش سطحی در فوق اشباع و دماهای مختلف.....71

شکل(5-36) نمودار تعیین درجه هسته زایی در دمای 273/15 درجه کلوین.....73

شکل (5-37) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات CO_2 در آزمایش (1).....75

شکل (5-38) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل

هیدرات CO_2 در آزمایش (1).....75

شکل (5-39) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات CO_2 در آزمایش (2).....76

شکل (5-40) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل

هیدرات CO_2 در آزمایش (2).....76

شکل (5-41) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات CO_2 در آزمایش (3).....77

شکل (5-42) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل

هیدرات CO_2 در آزمایش (3).....77

شکل (5-43) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات CO_2 در آزمایش (4).....78

شکل (5-44) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل

هیدرات CO_2 در آزمایش (4).....78

شکل (5-45) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات CO_2 در آزمایش (5).....79

شکل (5-46) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل

هیدرات CO_2 در آزمایش (5).....79

شکل (5-47) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در تشکیل هیدرات CO_2 در آزمایش (6).....80

شکل (5-48) منحنی تغییرات دما و فشار بر حسب زمان در لحظه شروع تشکیل

هیدرات CO_2 در آزمایش (6).....80

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com