

پیشگیری از تشکیل هیدرات گازی توسط میدان مغناطیسی در ازدیاد برداشت از مخازن نفتی با استفاده از روش فراآوری با گاز

امین احمدی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر • سجاد خدایاری^۱، شرکت بهره‌برداری نفت و گاز گچساران

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۱/۲۲

تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۵/۲۵

واژگان کلیدی:

هیدرات‌های گازی، میدان مغناطیسی، پیوند هیدروژنی، صفحات کاهنده، ازدیاد برداشت، سرعت گاز

چکیده

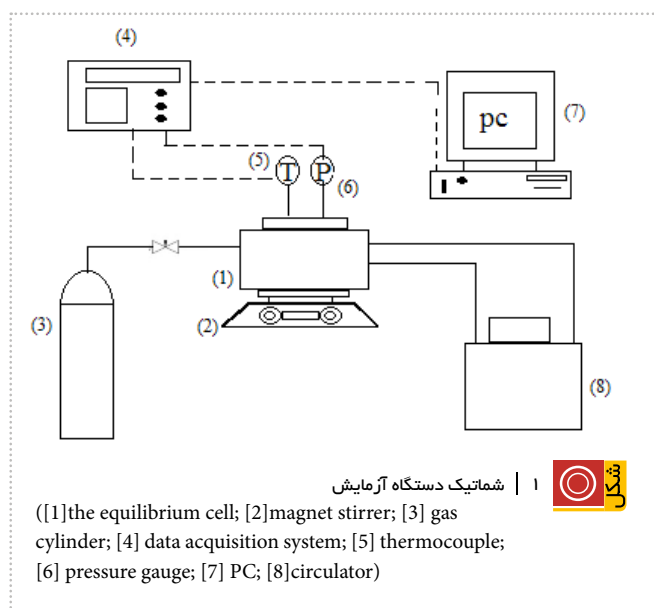
یکی از مسائل مربوط به گاز طبیعی، پدیده‌ی تشکیل هیدرات‌های گازی است. بسیاری ترکیبات گاز طبیعی در ترکیب با آب تشکیل هیدرات می‌دهند که این معضل از مهم‌ترین مشکلات تولید، فراورش و انتقال گاز است. امروزه در چاه‌های تولیدی کشور به علت افت فشار مخزن و افزایش گرانی سیال، با مشکل تولید نفت روبرو هستیم. بنابراین متناسب با سناریوی تولید از مخزن از روش‌های ازدیاد برداشت مانند تزریق گاز و آب یا فراآوری با گاز استفاده می‌گردد. اما با تمام این تلاش‌ها همچنان مشکلاتی در به کارگیری روش‌های مذکور وجود دارد. مثلاً شرایط گاز فراآوری از لحاظ سرعت زیاد و ماهیت گاز (که از آب اشباع است) به گونه‌ای است که معمولاً در محل نصب صفحات کاهنده روی خطوط لوله انتقال گاز به چاه شاهد تشکیل هیدرات هستیم.

در تشکیل پدیده‌ی هیدرات، پیوند هیدروژنی باعث می‌شود آرایش مولکول‌های آب در جهت خاصی متناسب با تشکیل ساختار بلوری قرار گیرند. با بررسی اثر میدان مغناطیسی بر تشکیل هیدرات مشخص شد میدان مغناطیسی به عنوان یک مانع کننده عمل کرده و از تشکیل هیدرات جلوگیری می‌کند. این اثر در فرآیند فراآوری چاه‌های نفتی با گاز بسیار حائز اهمیت است و به طرز چشم‌گیری می‌تواند از اتلاف بخشی از انرژی به صورت جریان برگشتی، کاهش تولید ناشی از مسدود شدن خط تزریقی و آلودگی حاصل از سوختن گاز برگشتی جلوگیری نماید و سلامت نیروی انسانی را تأمین کند.

مقدمه

در ۱۸۱۰ میلادی دیوی کشف کرد وقتی محلول آبی کلر تا دمای ۹- درجه‌ی سلسیوس سرد شود ماده‌ی جامدی به دست می‌آید. فارادی در ۱۸۲۳ وجود چنین ماده‌ی جامدی را تأیید

فراآوری با گاز در یک میدان نفتی از روش‌های معمول ازدیاد برداشت مخازن نفتی قدیمی جهت کاهش گرانی سیال مخزن به شمار می‌رود. این روش از دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی در سطح بین‌المللی استفاده شده و به دلیل کم‌هزینه بودن در مقایسه با سایر روش‌ها (از جمله حفاری چاه‌های جدید) مورد استقبال قرار گرفته است. در این روش برای تزریق از گازهای هیدروکربنی غنی یا سبک، دی‌اکسید کربن و ازت استفاده می‌شود. هدف نهایی تزریق گاز، تأمین ضریب بازیافت بیشتر در میادین نفتی نسبت به روش‌های اولیه و معمول است. هیدرات‌های گازی (کلاتریت هیدرات) ترکیبی کریستالی است که از حبس مولکول‌های گاز در حفره‌های حاصل از پیوند هیدروژنی آب به دست می‌آید. در غیاب مولکول میهمان (گاز محبوس) حفره از نظر ترمودینامیکی ناپایدار است. اما اگر مولکول گاز میهمان در داخل این حفره‌ها قرار گیرد پیوند به وجود آمده بین گاز و مولکول آب باعث پایداری ساختار می‌گردد و شبکه‌ی هیدرات در دمایی بیشتر از دمای انجماد آب تشکیل می‌شود [۱].



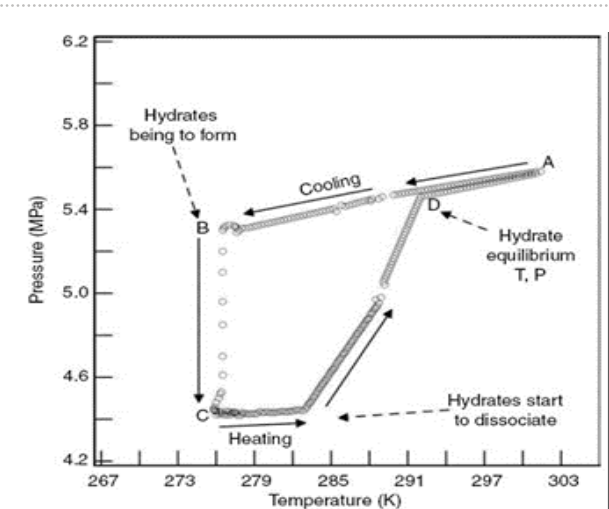
* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (ahmadi.amin68@yahoo.com)

و عنوان کرد که این ماده از یک قسمت کلر و ۱۰ قسمت آب تشکیل شده است [۲]. اکنون حدود ۱۰۰ ماده وجود دارند که در اثر مخلوط شدن با آب می‌توانند ترکیبات جامد غیراستوکیومتری تشکیل دهند که به آنها هیدرات‌گازی گویند. در ۱۹۳۴ هامر اشمیت دریافت که مسدود شدن لوله‌های انتقال گاز در اثر تشکیل هیدرات است. از آن زمان بود که محققان بیشتری علاقه‌مند به کار روی هیدرات‌گازی شدند و درصدد برآمدند با روش‌های مختلف از تشکیل هیدرات جلوگیری کنند. بازراندن‌های ترمودینامیکی عموماً از گروه الکل‌ها و الکترولیت‌ها هستند. این مواد باعث می‌شوند که هیدرات در فشار یکسان اما در دمای کمتری تشکیل شود. تأثیر این مواد مانند اثر الکترولیت‌ها در کاهش نقطه‌ی انجماد آب است. از موادی که به‌عنوان بازراندن‌های ترمودینامیکی استفاده شده‌اند می‌توان از متانول، اتانول، مونواتیلن گلیکول، دی‌اتیلن گلیکول، تری‌اتیلن گلیکول و کلرید عناصر گروه اول

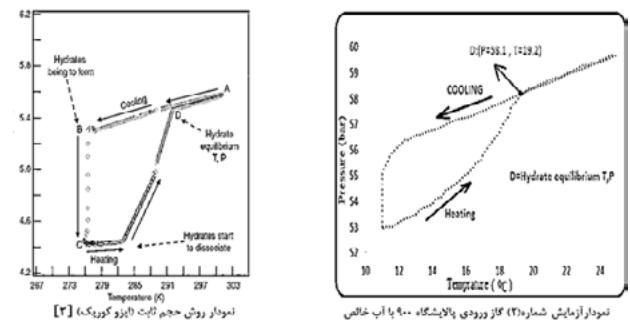
و عنوان کرد که این ماده از یک قسمت کلر و ۱۰ قسمت آب تشکیل شده است [۲]. اکنون حدود ۱۰۰ ماده وجود دارند که در اثر مخلوط شدن با آب می‌توانند ترکیبات جامد غیراستوکیومتری تشکیل دهند که به آنها هیدرات‌گازی گویند. در ۱۹۳۴ هامر اشمیت دریافت که مسدود شدن لوله‌های انتقال گاز در اثر تشکیل هیدرات است. از آن زمان بود که محققان بیشتری علاقه‌مند به کار روی هیدرات‌گازی شدند و درصدد برآمدند با روش‌های مختلف از تشکیل هیدرات جلوگیری کنند. بازراندن‌های ترمودینامیکی عموماً از گروه الکل‌ها و الکترولیت‌ها هستند. این مواد باعث می‌شوند که هیدرات در فشار یکسان اما در دمای کمتری تشکیل شود. تأثیر این مواد مانند اثر الکترولیت‌ها در کاهش نقطه‌ی انجماد آب است. از موادی که به‌عنوان بازراندن‌های ترمودینامیکی استفاده شده‌اند می‌توان از متانول، اتانول، مونواتیلن گلیکول، دی‌اتیلن گلیکول، تری‌اتیلن گلیکول و کلرید عناصر گروه اول

۱ | آنالیز ترکیبات هیدروکربنی نمونه‌ی گاز پالایشگاه (کارخانه‌ی گاز و گاز مایع)

ملاحظات	درصد مولی	فرمول	ترکیبات
Special Weight: $\frac{MW_{Sample}}{MW_{Air}} = 0.7163$ Molecular Weight: $0.778(g/mol)$	0.05	H ₂ S	هیدروژن سولفور
	0.20	N ₂	نیتروژن
	2/18	CO ₂	انیدرید کربن
	84/45	C ₁	متان
	5/95	C ₂	اتان
Cv+ Specs: Den: 0.6993 MW: 110.27	2/98	C ₃	پروپان
	0.67	iC ₄	ایزو بوتان
	1/26	nC ₄	نرمال بوتان
	0.48	iC ₅	ایزو پنتان
	0.56	nC ₅	نرمال پنتان
	0.54	C ₆	هگزان‌ها
	0.68	C ₇ ⁺	هپتان به بالا
100		جمع	



۲ | تعیین نقاط تعادلی به روش حجم ثابت



۳ | مقایسه‌ی نمودار آزمایش به روش حجم ثابت (فقط با آب مقطر)

را درون پوسته‌ی محفظه به گردش در می‌آورد. جهت ایجاد تعادل بین فازها از یک همزن الاکلنگی با قابلیت تنظیم دور استفاده شده است. دمای داخل محفظه‌ی واکنش با سنسوری دمایی در محدوده‌ی (۳۵- تا ۸۰°C) تا ۳۱- تا ۱۷۶°F اندازه‌گیری می‌شود. یک عدد انتقال‌دهنده‌ی فشار با دقت ۰/۱ psi نیز برای اندازه‌گیری فشار به کار رفته که نمودارهای دما و فشار را برحسب زمان به صورت کامپیوتری ثبت می‌کند.

۱-۲- شرح آزمایش^۲ روش به دست آوردن نقاط تعادلی

برای به دست آوردن نقاط تعادلی سه روش اصلی دما ثابت، فشار ثابت و حجم ثابت^۳ وجود دارد که دقت روش‌های دما ثابت و فشار ثابت کم است؛ در حالی که روش حجم ثابت مورد تأیید بیشتر پژوهشگران است [۸] و همواره دقت مناسبی دارد که در تحقیق حاضر نیز از آن استفاده می‌شود. آزمایش‌ها در پنج بخش زیر انجام شده است:

- داده‌های تعادلی هیدرات گاز پالایشگاه گاز و گاز مایع اشاره شده در بالا بدون حضور افزودنی (با آب D-M).
- داده‌های تعادلی هیدرات گاز پالایشگاه گاز و گاز مایع در میدان ۴۰۰۰ گوسی
- داده‌های تعادلی هیدرات گاز پالایشگاه گاز و گاز مایع در میدان ۳۰۰۰ گوسی
- داده‌های تعادلی هیدرات گاز پالایشگاه گاز و گاز مایع در میدان ۲۰۰۰ گوسی
- داده‌های تعادلی هیدرات گاز پالایشگاه گاز و گاز مایع در میدان ۱۰۰۰ گوسی

ابتدا رآکتور تشکیل هیدرات را با آب دی‌یونیزه شستشو داده و اجازه می‌دهیم تا آب تخلیه و رآکتور اصلاً خشک شود. سپس جهت به دست آوردن نقاط تعادلی با سرنگ، ۱۵۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه به رآکتور تشکیل هیدرات اضافه کرده و جهت تخلیه‌ی هوای داخل آن از پمپ خلأ استفاده می‌کنیم.

با استفاده از سیلندر گاز، رآکتور تشکیل هیدرات را تا فشارهای مورد نظر برای انجام آزمایش از گاز پر نموده و هنگامی که دمای رآکتور روی یک دمای معین ثابت شد به آرامی دمای مبدل حرارتی را کاهش می‌دهیم. با کاهش دما، فشار نیز کاهش می‌یابد؛ این کار را تا جایی ادامه می‌دهیم که دما تقریباً ثابت و روند کاهش فشار داخل رآکتور با زمان بسیار ناچیز (برابر با ۰/۱ bar/hr) شود. در این شرایط تشکیل هیدرات پایان یافته و بنابراین به آرامی

میدان مغناطیسی کشش سطحی آب را کاهش و حلالیت آنرا افزایش می‌دهد. همچنین پیوندهای هیدروژنی آب-هیدروکربن را ضعیف کرده و آب را به مولکول‌های آزاد تبدیل می‌کند [۷]. بنابراین به دلیل آنکه در تشکیل هیدرات گازی، پیوند هیدروژنی آب به عنوان ساختمان و میزبان گاز جزء اصلی است، کاهش این اثر با استفاده از میدان مغناطیسی بر عدم تشکیل هیدرات گازی می‌تواند مفید واقع شود.

رفع پدیده‌ی هیدرات در فرآیندهای گاز به ویژه در مجتمع‌های پالایشگاهی (گاز و گازمایع) نیازمند اطلاعات دقیق از شرایط ترمودینامیکی گاز و اثر مواد بازدارنده بر تشکیل هیدرات است. بنابراین هدف تحقیق حاضر به دست آوردن نقاط تعادلی گاز طبیعی در حضور و بدون حضور میدان مغناطیسی است. برای این کار اثر میدان مغناطیسی با شدت‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ گوس بر تشکیل هیدرات گاز غنی خوراک یکی از کارخانه‌های گاز و گازمایع در منطقه‌ی نفتی جنوب کشور در یک سیستم آزمایشگاهی بررسی شده که این گاز مورد استفاده در فرازآوری چاه‌های میادین نفتی همان منطقه است. در پروژه‌ی حاضر با به دست آوردن نقاط تعادلی گاز طبیعی در حضور و بدون حضور مواد افزودنی به گاز، نقطه‌ی تشکیل هیدرات گاز غنی تعیین شده است. این بررسی راه‌حلی مناسب جهت جلوگیری یا به تأخیر انداختن نقطه‌ی تشکیل هیدرات ناشی از عبور گاز از صفحات کاهنده با استفاده از اعمال میدان مغناطیسی بر آن خواهد بود (صفحات کاهنده جهت تنظیم شرایط فشار و نرخ گاز فرازآوری نصب می‌شوند).

۱- مواد، شرح دستگاه و روش آزمایشگاهی

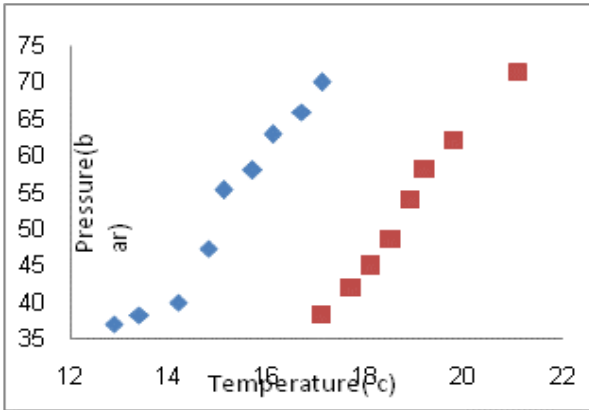
۱-۱- تشریح دستگاه بررسی تشکیل هیدرات

در این تحقیق دستگاهی جهت بررسی تشکیل هیدرات گازی با دامنه‌ی دمایی عملیاتی (۲۰- تا ۶۰°C) تا ۴- تا ۱۴۰°F و فشار بیش از ۲۲۰۰ psia (۱۵Mpa) ساخته شده که جهت نمایش و کنترل شرایط عملیاتی به چندین سنسور مجهز است (شکل-۱). جنس محفظه‌ی استوانه‌ای شکل (که محل انجام واکنش است) از فولاد زنگ‌نزن ۳۱۶ و مجهز به چهار اتصال فشار بالاست. جهت نصب سنسورهای اندازه‌گیری دما و فشار اتصالی برای تزریق سیال و ایجاد خلأ در محفظه (با هدف تنظیم شرایط دمایی) در نظر گرفته شده و سلول مورد نظر پوسته‌ای با عایق مناسب دارد که سیال در اطراف آن در گردش است. یک سیرکولاتور سرماساز-گرماساز با قابلیت تنظیم دمایی و دقت ۰/۱°C مخلوط مونواتیلن گلایکول و آب

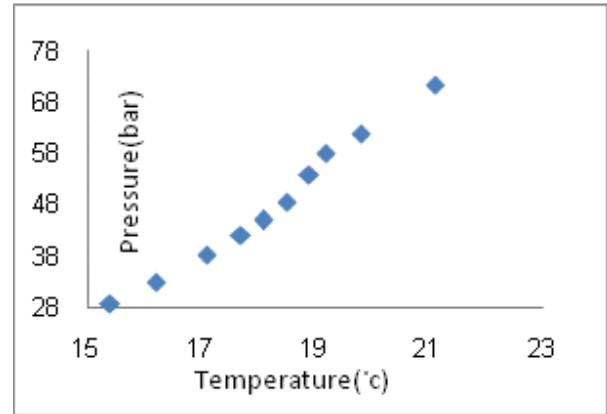
۳-۱- مواد و تجهیزات مورد استفاده

مواد و تجهیزات به کار رفته در آزمایش‌های این پژوهش عبارتند از:

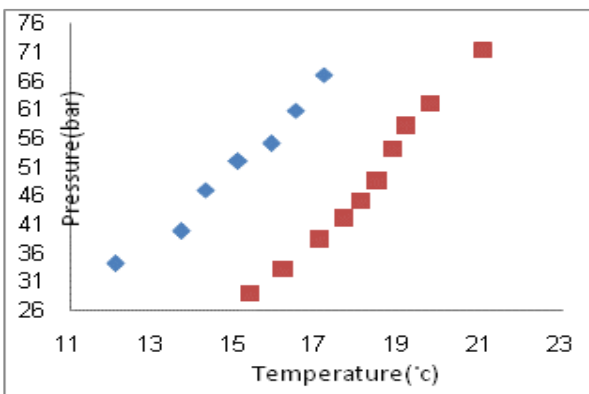
دمای مبدل حرارتی را افزایش می‌دهیم تا در یک نقطه‌ی منحنی (سرمايش و گرمایش) یا (جذب و دفع) همدیگر را قطع کنند که آنرا نقطه‌ی تعادلی هیدرات^۵ گویند.



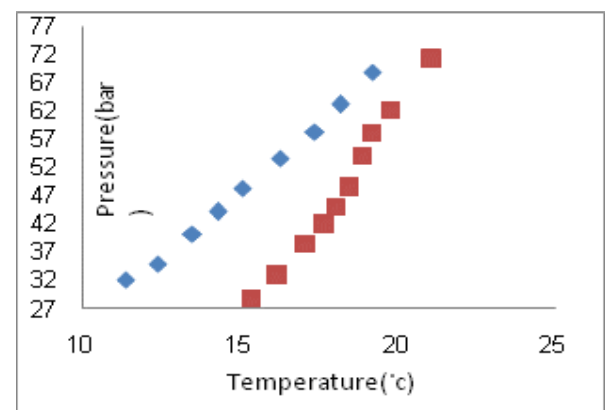
شکل ۷ | نمودار تعادلی؛ با میدان ۲۰۰۰ گوس



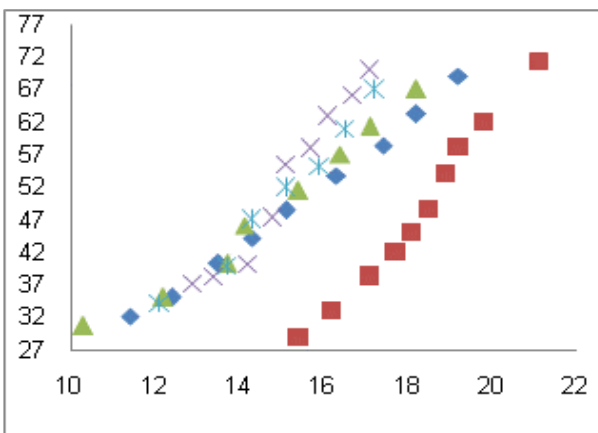
شکل ۴ | نمودار تعادلی؛ بدون میدان مغناطیسی



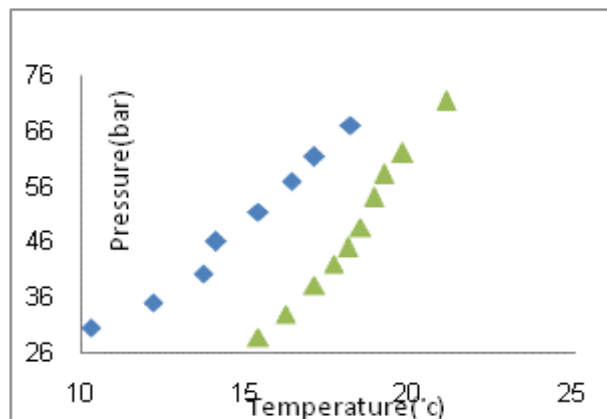
شکل ۸ | نمودار تعادلی؛ با میدان ۱۰۰۰ گوس



شکل ۵ | نمودار تعادلی؛ با میدان ۴۰۰۰ گوس



شکل ۹ | نمودار تعادلی - با میدان‌های مغناطیسی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ گوس



شکل ۶ | نمودار تعادلی؛ با میدان ۳۰۰۰ گوس

۱-۳-۱- گاز یکی از پالایشگاه‌های منطقه‌ی نفتی جنوب کشور

سیلندر گاز ۴۰ لیتری با فشار اولیه‌ی ۷۲bar و ترکیب درصد مشخص که در جدول-۱ ارائه شده است. از گاز ورودی پالایشگاه گاز و گاز مایع نمونه‌گیری شده است.

۱-۲-۳-۱- آب دی‌یونیزه

آب دی‌یونیزه برای تماس با گاز جهت تشکیل هیدرات تهیه شده که حاوی مواد جامد محلول^۶ (۰/۱-۰/۴ppm) با PH ۶/۵-۷/۵ است.

۱-۳-۳-۱- چندین آهنربا هر یک با شدت میدان ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ گوس

۲- بحث و نتیجه‌گیری

۱-۲-۱- آزمایش‌ها

در شکل-۴ نمودار تعادلی گاز مورد نظر بدون میدان مغناطیسی نشان داده شده (depicted) و سپس اثر میدان مغناطیسی با ایجاد پوشش آهن‌ربایی به اطراف رآکتور تشکیل هیدرات با شدت میدان ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ گوسی به‌طور جداگانه به‌دست آمده که نمودارهای مربوطه

در شکل‌های-۵ تا ۹ ارائه شده‌اند.

۲-۲- نتایج

تحقیق حاضر حاصل چندین ماه کار آزمایشگاهی است که در آن بالغ بر ۴۳ نقطه‌ی تعادلی تشکیل هیدرات به‌دست آمده است. نتایج نشان داد که تأثیر میدان مغناطیسی مشابه اثر مواد بازدارنده‌ی تشکیل هیدرات است و در شدت‌های میدان مختلف اثرات متفاوتی دارند. همان‌گونه که در مقایسه‌ی کلی مشخص است تأثیر میدان مغناطیسی مقداری بهینه دارد؛ چراکه با کاهش شدت میدان مغناطیسی از ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ گوس اثر آن افزایش می‌یابد. اما تأثیر آن بر تشکیل هیدرات در ۱۰۰۰ گوس کمتر از میدان مغناطیسی ۲۰۰۰ گوس است. بنابراین با شدت ۲۰۰۰ گوس جهت جلوگیری از تشکیل هیدرات بهینه‌ترین شدت میدان مغناطیسی است. در این روش از تأثیر تداخلی مواد شیمیایی ضد خوردگی و ضد رسوب در خط لوله با ممانعت‌کننده‌های هیدرات جلوگیری می‌شود. بنابراین با توجه به آنکه در حال حاضر اثر تداخلی مواد شیمیایی با مواد ممانعت‌کننده یکی از چالش‌های مهم تولید است با این روش از هزینه‌های تأمین مواد بازدارنده یا انرژی مصرفی جهت احیای مواد ممانعت‌کننده ترمودینامیکی نیز اجتناب به‌عمل خواهد آمد.

پانویس‌ها

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1. sajad_khodayari@yahoo.com | 3. Isochoric | 5. Hydrate equilibrium |
| 2. Test Description | 4. Adsorption and desorption | 6. Total Dissolved Solids |

منابع

- [1] Gas Processors Suppliers Association Engineering Data Book, Tulsa, Oklahoma, (2004)
- [2] Englezos P., "Clathrate Hydrate", Ind. Eng. Chem. Res. pp.1251-1274, (1993).
- [3] Sloan E. D., S. Subramanian, P. N. Matthews, J. P. Khokar, and A. A. Khokar, "Quantifying Hydrate Formation and Kinetic Inhibition", Ind. Eng. Chem. Res., pp.3124-3132, 37, (1998).
- [4] Ganji, h., "Kinetics study on hydrate Crystallization In the presence of promoters (For gas transmission)" Ph.D. Thesis, Chemical engineering, Department of Chemical Engineering, Tarbiat Mo-dares University, 2004.
- [5] Hiroyuki Kumano, Tetsuo Hirata, Katsutoshi Mitsuishi, Ken-ichi Ueno, "Experimental study on effect of electric field on hydrate nucleation in supercooled tetra-n-butyl ammonium bromide aqueous solution", Int. J. Refrigeration 35, (2012) 1266-1274.
- [6] Okawa, S., Saito, A., Harada, T., 1997. "Experimental study on the effect of the electric field on the freezing of the supercooled water". Trans. JSRAE 14, 47-55 (in Japanese).
- [7] Ran Cai, Hongwei Yang, Jinsong He, Wanpeng Zhu "The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds", Journal of Molecular Structure 938, (2009) 15-19.
- [8] Sloan E. D., "Clathrate Hydrate of Natural Gases", (2nd ed.), New York, Marcel Dekker Inc., (1997).