

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی شیمی، نفت و گاز (مهندسی گاز)

## مدلسازی یک بعدی تجزیه هیدرات در مخازن گازی هیدراته

انجمن طلاعات مدرک علمی و پژوهشی  
تیمبر مارک

توسط

محمد ابراهیم ضیغمی

۱۳۸۸ / ۲ / ۲۳

استاد راهنما:

دکتر فریدون اسماعیل زاده

دکتر جمشید فتحی کلجاهی

اسفند ماه ۱۳۸۷

۱۱۵۴۳۴

به نام خدا

## مدلسازی یک بعدی تجزیه هیدرات در مخازن گازی هیدراته

به وسیله ی:

محمد ابراهیم ضیغمی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی  
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی:

مهندسی شیمی (مهندسی گاز)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر فریدون اسماعیل زاده، دانشیار بخش مهندسی شیمی، نفت و گاز (رئیس کمیته)

دکتر جمشید فتحی کلجاهی، استاد بخش مهندسی شیمی، نفت و گاز

دکتر علیرضا شریعتی، استادیار بخش مهندسی شیمی، نفت و گاز

دکتر نصیر مهران بد، استادیار بخش مهندسی شیمی، نفت و گاز

اسفند ماه ۱۳۸۷

تقدیم به:

خانواده ام که همواره دعای خیرشان بدرقه راهم بوده است

## سپاسگزاری

اکنون که این رساله به پایان رسیده است بر خود لازم می دانم که از زحمات بی دریغ استاد ارجمندم جناب آقای دکتر اسماعیل زاده که در تمام مراحل انجام این پایان نامه یاریم نمودند کمال تشکر را نمایم.

## چکیده

### مدلسازی یک بعدی تجزیه هیدرات در مخازن گازی هیدراته

به وسیله ی:

محمد ابراهیم ضیغمی

با توجه به رشد روز افزون مصرف گاز طبیعی در جهان، ضرورت شناخت هرچه بیشتر مخازن گازی هیدراته بعنوان منابع عظیمی از گاز طبیعی افزایش یافته است. هدف از این پایان نامه مدلسازی عددی یک بعدی تولید گاز ناشی از تجزیه هیدرات موجود در مخازن گازی هیدراته توسط روشهای کاهش فشار و تحریک حرارتی و بدست آوردن توزیع فشار، دما، اشباعیت فازهای موجود در مخزن و میزان بهینه سیال تزریقی به مخزن بمنظور افزایش میزان برداشت گاز از مخزن می باشد. ابتدا با ذکر مقدمه ای از هیدرات و مشخصات فیزیکی آن، به مکانها و عوامل طبیعی بوجود آورنده آن می پردازیم. سپس با بررسی مطالعات صورت گرفته قبلی، به ذکر عوامل موثر در تجزیه هیدرات خواهیم پرداخت. در ادامه با حل همزمان معادلات موازنه جرم، موازنه انرژی، سینتیک تجزیه هیدرات و اعمال شرایط مرزی و اولیه حاکم بر مخزن، مدلسازی تجزیه هیدرات ارائه می شود. در گام بعدی تاثیر شرایط مختلف حاکم بر مدل را در نتایج حاصل از مدلسازی بررسی می کنیم. در نهایت مطالب بیان شده در بخشهای گذشته را جمع بندی کرده و به ارائه پیشنهاد و نتیجه گیری می پردازیم. نتایج حاصل از این مدل نشان می دهد که استفاده از معادله حالت ER اصلاح شده سبب بهبود نتایج بدست آمده می شود تا آنجا که در هیچ بازه زمانی از مطالعه مخزن، میزان خطای داده های فشار حاصل از این مدل در مقایسه با نرم افزار شبیه ساز HYDRSIM بیشتر از ۱۰٪ نمی باشد. ضمناً هر کدام از سه مکانیزم عمده موثر در تجزیه هیدرات که عبارتند از مکانیزم انتقال جرم، انتقال حرارت و سینتیک تجزیه هیدرات، در شرایط خاصی می توانند مهم و یا بی تاثیر باشند. همچنین، اگرچه اعمال تحریک حرارتی بر مخزن باعث افزایش راندمان تولید می شود اما باید محدودیتهای استفاده از این روش را نیز در نظر داشت.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه .....
۸	فصل دوم: مروری بر مطالعات انجام شده .....
۸	۱-۲- رفتار فازی هیدرات متان .....
۱۰	۲-۲- سینتیک تجزیه هیدرات .....
۱۲	۳-۲- مدلسازی تجزیه هیدرات .....
۱۳	۱-۳-۲- تحریک حرارتی .....
۱۵	۲-۳-۲- تزریق ممانعت کننده .....
۱۵	۳-۳-۲- کاهش فشار .....
۱۸	۴-۳-۲- شبیه سازهای عددی .....
۲۱	فصل سوم: عوامل مؤثر در تجزیه هیدرات .....
۲۲	۱-۳- مکانیسم انتقال حرارت .....
۲۶	۲-۳- مکانیسم سینتیک تجزیه هیدرات .....
۲۷	۳-۳- عامل وجود جریان سیال به خارج از محیط مخزن .....
۲۷	۱-۳-۳- تأثیر وجود جریان آب .....
۲۸	۲-۳-۳- تأثیر وجود جریان گاز .....
۲۹	۴-۳- مقایسه تأثیر مکانیسم های مختلف تجزیه هیدرات بر سرعت تجزیه هیدرات .....
۳۰	فصل چهارم: مدلسازی عددی .....
۳۲	۱-۴- معادلات حاکم بر مدلسازی .....
۳۲	۱-۴-۱- سینتیک تجزیه هیدرات .....
۳۳	۲-۴-۱- موازنه جرم .....
۳۵	۳-۴-۱- موازنه انرژی .....
۳۵	۴-۴-۱- شرایط مرزی و اولیه .....
۳۶	۲-۴- محاسبه مشخصات فیزیکی و فشار تعادلی: .....
۳۶	۱-۴-۲- تخلخل سازند .....
۳۶	۲-۴-۲- چگالی فازها .....
۳۸	۳-۴-۲- فوگاسیته گاز متان .....
۳۹	۴-۴-۲- مشخصات حرارتی .....

## عنوان

## صفحه

۳۹	..... ۴-۲-۵- ویسکوزیته سیالات
۴۰	..... ۴-۲-۶- تراوایی های نسبی و فشار موئینگی
۴۱	..... ۴-۲-۷- منحنی تعادلی سه فاز هیدرات-گاز-آب
۴۲	..... ۴-۳- انتقال حرارت بین مخزن و محیط اطراف آن
۴۳	..... ۴-۴- روش حل معادلات
۴۴	..... ۴-۴-۱- فرمولهای تفاضلات محدود
۴۶	..... ۴-۴-۲- مراحل حل مدل توسط نرم افزار Matlab
۴۹	..... فصل پنجم: بحث و نتایج
۴۹	..... ۵-۱- مدل فیزیکی
۵۵	..... ۵-۲- تأثیر تغییر پارامترهای مختلف مدل بر نتایج مدلسازی
۸۳	..... فصل ششم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات
۸۴	..... ۶-۱- نتیجه گیری
۸۵	..... ۶-۳- پیشنهادات
۸۸	..... فهرست منابع



## فهرست جدول ها

عنوان و شماره	صفحه
جدول شماره ۱-۲: پارامترهای سینتیک واکنش .....	۱۱
جدول شماره ۲-۲ الف: مقایسه برخی از مدل‌های عددی موجود در زمینه مدلسازی تولید گاز از مخازن هیدرات .....	۱۹
جدول شماره ۲-۲ ب: مقایسه برخی از مدل‌های تحلیلی موجود در زمینه مدلسازی تولید گاز از مخازن هیدرات .....	۲۰
جدول شماره ۱-۵: شکل هندسی و مشخصات مخزن مورد مطالعه .....	۵۰
جدول شماره ۲-۵: مقادیر مشخصات فیزیکی مورد استفاده در مدلسازی.....	۵۰
جدول شماره ۳-۵: مشخصات متغیر مورد استفاده در مطالعه و بررسی مدل .....	۵۹
جدول شماره ۴-۵: مشخصات فیزیکی سیالات تزریقی مورد بررسی در ۱۱-case.....	۷۳

## فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۲	شکل شماره ۱-۱: نمای شماتیک هیدرات نوع I
۲	شکل شماره ۲-۱: نمای شماتیک هیدرات نوع II
۳	شکل شماره ۳-۱: نمای شماتیک هیدرات نوع H
۴	شکل شماره ۴-۱: شرایط اقلیمی مناطقی که در آنها امکان وجود هیدرات وجود دارد. (A) مناطق قاره ای قطبی. (B) مناطق دریایی (Kvenvolden, ۱۹۸۸).
۵	شکل شماره ۵-۱: مخازن طبیعی هیدرات کشف شده
۵	شکل شماره ۶-۱: مقایسه حجم هیدروکربور حبس شده در بین مولکولهای هیدرات نسبت به سایر منابع هیدروکربوری
۹	شکل شماره ۱-۲: منحنی فشار-دمای تعادلی سیستم متان-آب
۱۰	شکل شماره ۲-۲: منحنی تعادلی هیدرات بر اساس رابطه (Kamath, Holder (۱۹۸۷)
۱۳	شکل شماره ۳-۲: نیروهای محرک ایجاد شده در سه روش تجزیه هیدرات
۲۲	شکل شماره ۱-۳: نمایی از فرآیند کاهش فشار در نمودار فازی هیدرات
۲۲	شکل شماره ۲-۳: نمایی از چگونگی تجزیه هیدرات توسط روش کاهش فشار در یک مخزن نیمه محدود
۲۵	شکل شماره ۳-۳: تغییرات نسبت به تغییرات Ste
۲۹	شکل شماره ۴-۳: مقایسه تأثیر مکانیسم های مختلف تجزیه هیدرات بر سرعت تجزیه
۳۱	شکل شماره ۱-۴: مراحل شبیه سازی مخزن هیدرات
۴۱	شکل شماره ۲-۴: منحنی های تراوایی نسبی
۴۱	شکل شماره ۳-۴: منحنی فشار موئینگی
۴۸	شکل شماره ۴-۴: مراحل حل مدل ریاضی
۵۱	شکل شماره ۱-۵: مقایسه بین نتایج فشار حاصل از مدل با نتایج دیگر مدل های مشابه.
۵۲	شکل شماره ۲-۵: میزان خطای داده های فشار حاصل از این مدل در مقایسه با شبیه ساز HYDRSIM (۲۰۰۵).
۵۳	شکل شماره ۳-۵: تغییرات دمای مخزن در بازه زمانی مطالعه مخزن.
۵۳	شکل شماره ۴-۵: تغییرات اشباعیت هیدرات در مخزن در بازه زمانی مطالعه مخزن.
۵۴	شکل شماره ۵-۵: تغییرات اشباعیت گاز در مخزن در بازه زمانی مطالعه مخزن.
۵۵	شکل شماره ۶-۵: تغییرات اشباعیت آب در مخزن در بازه زمانی مطالعه مخزن.
۵۶	شکل شماره ۷-۵: تغییرات فشار مخزن در بازه زمانی مطالعه مخزن، case-۱
۵۶	شکل شماره ۸-۵: توزیع فشار مخزن نسبت به فاصله از دهانه چاه، case-۱.

- شکل شماره ۵-۹: مجموع کل گاز تولیدی ناشی از تجزیه هیدرات، بر حسب زمان، ۱-case..... ۵۷
- شکل شماره ۵-۱۰: سرعت تولید گاز ناشی از تجزیه هیدرات بر حسب زمان، ۱-case..... ۵۷
- شکل شماره ۵-۱۱: مجموع کل آب تولیدی ناشی از تجزیه هیدرات بر حسب زمان، ۱-case..... ۵۸
- شکل شماره ۵-۱۲: تأثیر تغییر تعداد شبکه های مکانی در نظر گرفته شده برای مخزن در مقدار کل گاز تولید شده ۲-case..... ۶۰
- شکل شماره ۵-۱۳: تأثیر تغییر تعداد شبکه های مکانی در نظر گرفته شده برای مخزن در توزیع اشباعیت هیدرات ۲-case..... ۶۱
- شکل شماره ۵-۱۴: تأثیر ضریب هدایت حرارتی سنگ مخزن بر مقدار کل گاز تولید شده ۳-case..... ۶۱
- شکل شماره ۵-۱۵: تأثیر تغییر ضریب هدایت حرارتی سنگ مخزن بر توزیع اشباعیت هیدرات در مخزن ۳-case..... ۶۲
- شکل شماره ۵-۱۶: تأثیر تغییر ضریب هدایت حرارتی سنگ مخزن بر توزیع فشار گاز در مخزن ۳-case..... ۶۲
- شکل شماره ۵-۱۷: تأثیر تغییر ضریب ثابت سرعت واکنش تجزیه هیدرات بر توزیع اشباعیت هیدرات در مخزن ۴-case..... ۶۳
- شکل شماره ۵-۱۸: تأثیر تغییر ضریب ثابت سرعت واکنش تجزیه هیدرات بر مقدار کل گاز تولید شده ۴-case..... ۶۴
- شکل شماره ۵-۱۹: تأثیر تغییر تراوایی مطلق سازند بر مقدار کل گاز تولید شده ۵-case..... ۶۵
- شکل شماره ۵-۲۰: تأثیر تغییر تراوایی مطلق سازند بر سرعت تولید گاز ناشی از تجزیه هیدرات ۵-case..... ۶۶
- شکل شماره ۵-۲۱: تأثیر تغییر اشباعیت اولیه هیدرات بر مقدار کل گاز تولید شده ۶-case..... ۶۷
- شکل شماره ۵-۲۲: تأثیر تغییر اشباعیت اولیه هیدرات بر سرعت تولید گاز ناشی از تجزیه هیدرات ۶-case..... ۶۸
- شکل شماره ۵-۲۳: تأثیر تغییر اشباعیت اولیه هیدرات بر تغییر دمای مخزن ۶-case..... ۶۹
- شکل شماره ۵-۲۴: تأثیر افزایش شعاع مخزن بر میزان کل گاز تولیدی ۷-case..... ۶۹
- شکل شماره ۵-۲۵: تأثیر افزایش ضخامت لایه هیدرات بر میزان کل گاز تولیدی ۸-case..... ۷۰
- شکل شماره ۵-۲۶: تأثیر تغییر تخلخل سازند بر میزان کل گاز تولیدی ۹-case..... ۷۱
- شکل شماره ۵-۲۷: تأثیر تغییر دبی تولیدی از مخزن بر مقدار افت فشار مخزن ۱۰-case..... ۷۱
- شکل شماره ۵-۲۸: تأثیر تغییر دبی گاز تولیدی از مخزن بر میزان برداشت گاز از مخزن ۱۰-case..... ۷۲
- شکل شماره ۵-۲۹: تأثیر تغییر مقدار بخار آب تزریقی به مخزن بر میزان برداشت از مخزن ۱-۱۱-case..... ۷۴
- شکل شماره ۵-۳۰: تأثیر تغییر فشار بخار آب تزریقی به مخزن بر میزان برداشت از مخزن ۲-۱۱-case..... ۷۵
- شکل شماره ۵-۳۱: تأثیر تغییرات دمای بخار آب تزریقی به مخزن بر میزان برداشت از مخزن ۳-۱۱-case..... ۷۶
- شکل شماره ۵-۳۲: تأثیر تغییر دبی آب داغ تزریقی به مخزن بر میزان برداشت گاز از مخزن ۴-۱۱-case..... ۷۷
- شکل شماره ۵-۳۳: تأثیر تغییر فشار آب داغ تزریقی به مخزن بر میزان برداشت گاز از مخزن ۵-۱۱-case..... ۷۸
- شکل شماره ۵-۳۴: تأثیر تغییر دمای آب داغ تزریقی به مخزن بر میزان برداشت گاز از مخزن ۶-۱۱-case..... ۷۹
- شکل شماره ۵-۳۵: تأثیر تغییر مقدار متان تزریقی به مخزن بر میزان برداشت گاز از مخزن ۷-۱۱-case..... ۸۰

شکل شماره ۳۶-۵ : تأثیر تغییر فشار متان تزریقی به مخزن بر میزان برداشت گاز از مخزن ۸-۱۱- case-۱۱.... ۸۱

شکل شماره ۳۷-۵ : تأثیر تغییر دمای متان تزریقی به مخزن بر میزان برداشت گاز از مخزن ۹-۱۱- case-۱۱.. ۸۲

## فهرست نشانه های اختصاری

سطح ویژه تجزیه	$A_{dec}$
سطح ویژه تجزیه به ازاء واحد حجم هیدرات	$A_{HS}$
ضریب حجمی تشکیل گاز	$B_g$
ضریب حجمی تشکیل آب	$B_w$
ظرفیت حرارتی	$C_p$
تراکم پذیری سنگ مخزن	$C_r$
سرعت مولی تجزیه هیدرات	$dN/dt$
انرژی فعال سازی واکنش	$E$
فوگاسیته گاز متان در شرایط تعادل	$f_e$
فوگاسیته گاز متان در فاز گاز	$f_g$
دبی جرمی گاز تولیدی	$\dot{g}_g$
دبی جرمی هیدرات تجزیه شده	$\dot{g}_H$
دبی جرمی آب تولیدی	$\dot{g}_w$
ضخامت لایه هیدرات	$h$
آنتالپی فاز گاز	$h_g$
آنتالپی فاز آب	$h_w$
تراوایی مطلق سازند	$K$
ضریب هدایت حرارتی محیط متخلخل	$K_c$
ثابت سرعت واکنش	$k_d$
ثابت ذاتی سرعت واکنش	$k_0^d$
تراوایی نسبی گاز	$k_{rg}$
تراوایی نسبی آب	$k_{rw}$
جرم مولکولی گاز	$M_g$
جرم مولکولی هیدرات	$M_H$

جرم مولکولی هیدرات	$M_H$
جرم مولکولی آب	$M_w$
عدد هیدراته شدن	$N_H$
فشار	$P$
فشار موئینگی	$P_c$
فشار تعادلی هیدرات-گاز-آب در دمای $T_e$	$P_e$
فشار اولیه مخزن	$P_i$
فشار محیط	$P_0$
جرم تولیدی یا تزریقی گاز	$\dot{q}_m$
جرم تولیدی یا تزریقی آب	$\dot{q}_{mw}$
حرارت مورد نیاز برای تجزیه هیدرات	$\dot{Q}_H$
گرمای ورودی به مخزن از طرف گنبد و سنگهای اطراف مخزن	$\dot{Q}_{in}$
ثابت جهانی گازها	$R$
میزان برداشت از مخزن	$R_e$
شعاع مخزن	$r_e$
اشباعیت گاز	$S_g$
اشباعیت هیدرات	$S_h$
اشباعیت آب	$S_w$
زمان	$t$
دما	$T$
دمای بحرانی	$T_c$
دمای تعادلی هیدرات-گاز-آب در فشار $P_e$	$T_e$
ضریب انتقال پذیری فاز گاز	$T_g$
ضریب انتقال پذیری فاز آب	$T_w$
دمای اولیه مخزن	$T_i$
انرژی داخلی فاز گاز	$u_g$
انرژی داخلی فاز هیدرات	$u_h$
انرژی داخلی سنگ	$u_{rock}$
انرژی داخلی فاز آب	$u_w$
سرعت حرکت فاز گاز	$v_g$
سرعت حرکت فاز آب	$v_w$

سطح در حال تجزیه	$X(t)$
ضریب تراکم پذیری	$Z$
امتداد محور مخزن استوانه ای	$z$

### حروف یونانی

ضریب تراکم پذیری بحرانی	$\zeta$
ضریب تبدیل انتقال پذیری	$\beta_c$
ویسکوزیته فاز گاز	$\mu_g$
ویسکوزیته فاز آب	$\mu_w$
پارامتر بی بعد برای حل معادله حرارت	$\eta$
پارامتر بی بعد برای حل معادله حرارت	$\lambda$
پارامتر بی بعد برای حل معادله حرارت	$\theta$
تخلخل سازند	$\phi$
ضریب انتشار حرارتی	$\alpha$
ضریب زبری سطح	$\psi$
ضریب بی مرکزی	$\omega$
ضریب معادله ER اصلاح شده	$\Omega_a$
ضریب معادله ER اصلاح شده	$\Omega_b$
ضریب معادله ER اصلاح شده	$\Omega_c$
دانسیته گاز	$\rho_g$
دانسیته گاز در شرایط استاندارد	$\rho_{gsc}$
دانسیته هیدرات	$\rho_H$
دانسیته هیدرات در شرایط استاندارد	$\rho_{Hsc}$
دانسیته آب	$\rho_w$
دانسیته آب در شرایط استاندارد	$\rho_{wsc}$

## ۱- مقدمه

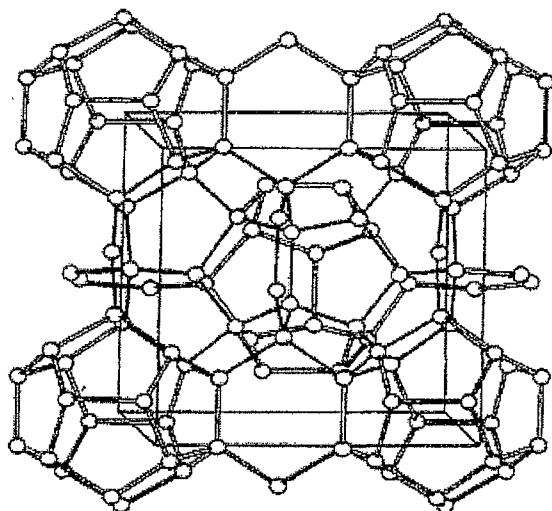
با افزایش قیمت انرژی در جهان، تقاضا برای سوخت‌های پاک و ارزانی مثل گاز طبیعی روز به روز در حال افزایش است. هیدرات‌های گازی که ترکیبی از آب و گاز طبیعی (عمدتاً متان) هستند، بعنوان یک منبع عظیم برای تولید گاز طبیعی به حساب می‌آیند. هیدرات‌های گازی ترکیباتی کریستالی شبیه به یخ هستند. توسط پیوندهای هیدروژنی مولکول‌های آب، قفسه‌هایی به نام Clathrate بوجود می‌آید که بسیاری از این قفسه‌ها بوسیله مولکول‌های گاز طبیعی اشغال می‌شوند. حجم گاز طبیعی قرار گرفته در بین مولکول‌های هیدرات در شرایط استاندارد بسیار بیشتر از حجم هیدرات مربوط به آن می‌باشد. معمولاً یک متر مکعب از هیدرات متان بین ۱۵۰ تا ۱۸۰ متر مکعب گاز طبیعی در شرایط استاندارد آزاد می‌کند (Sloan, ۱۹۹۸).

مولکول‌های گازی که در بین مولکول‌های هیدرات‌های گازی به دام افتاده اند می‌توانند شامل پارافین‌های سبک (متان تا ایزوبوتان)، دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن، نیتروژن و اکسیژن باشند.

بیش از ۹۹٪ هیدروکربن‌های گازی موجود در بین مولکول‌های هیدرات‌های گازی را متان تشکیل می‌دهد. هیدرات‌های گازی به سه ساختار کریستالی مختلف بنام‌های ساختار نوع I، نوع II و نوع H وجود دارند که این ساختارها براساس نوع ترکیب گاز و خصوصیت فازها بوجود می‌آیند.

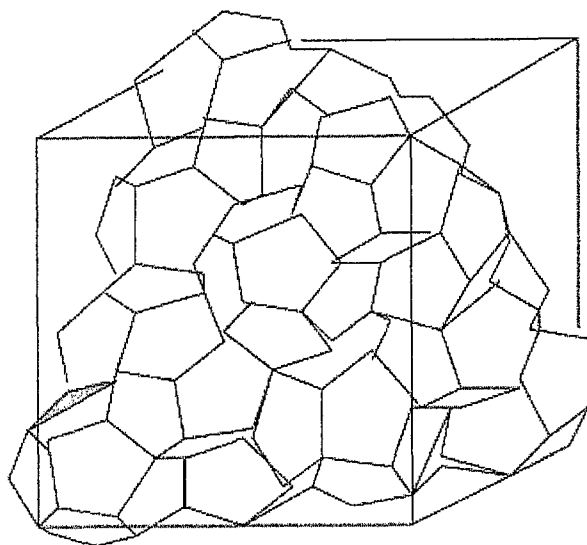
ترکیبات گازی که از نظر مولکولی کوچک هستند، هیدرات نوع I را تشکیل می‌دهند. مولکول‌هایی مانند متان، اتان، دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن قادر به تشکیل این نوع از هیدرات می‌باشند. هیدرات نوع I از هشت چند وجهی مطابق شکل ۱-۱ تشکیل شده است که دو تا از آنها بزرگتر و شش تای دیگر کوچکتر می‌باشند. این شبکه از ۴۶ مولکول آب تشکیل شده است و از نقطه نظر تئوری دارای ترکیبی به صورت  $8X, 46H_2O$  و یا  $X, 5.75H_2O$  می‌باشد. X نشان دهنده مولکول‌های هیدرات است.





شکل شماره ۱-۱: نمای شماتیک هیدرات نوع I

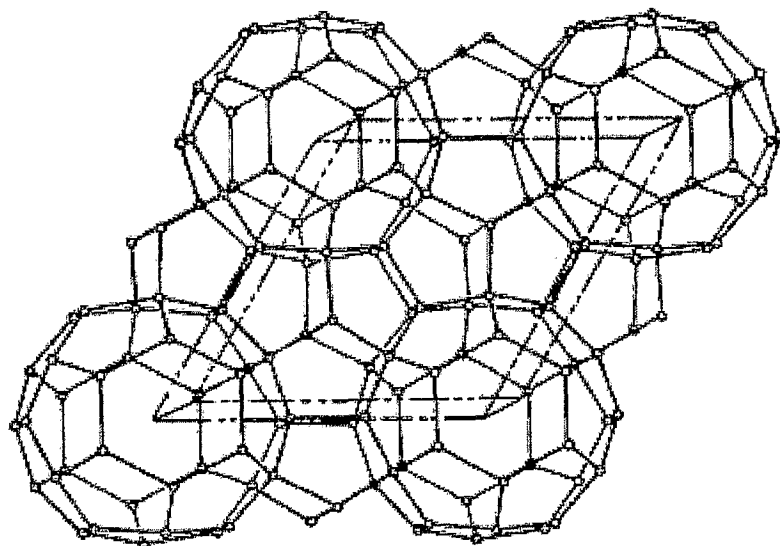
ترکیبات گازی با اندازه مولکولی بزرگتر، هیدرات نوع II را مطابق شکل ۲-۱ تشکیل می دهند. مولکولهایی همچون پروپان، ایزوبوتان و نیتروژن با وجود اندازه کوچک قادر به تشکیل هیدرات نوع II می باشند. ساختار نوع II از ۲۴ چند وجهی تشکیل شده است. هشت تا از آنها بزرگتر و شانزده تای دیگر کوچکتر می باشند. این شبکه کریستالی دارای ۱۳۶ مولکول آب است و از نظر تئوری دارای ترکیبی به صورت  $24X, 136H_2O$  و یا  $X, 5.67H_2O$  و یا  $X, 17H_2O$  در خواهد آمد.



شکل شماره ۲-۱: نمای شماتیک هیدرات نوع II

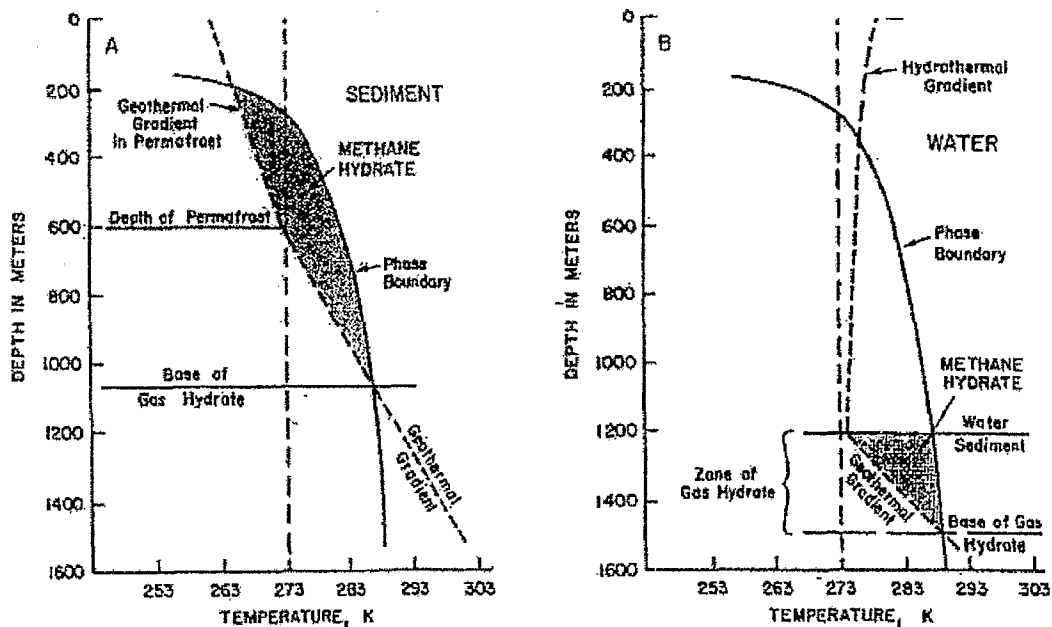
ساختار H هیدرات در حضور مولکولهای بسیار بزرگ و کوچک تشکیل می شود. این ساختار مطابق شکل ۳-۱ از یک چند وجهی بزرگ، سه چند وجهی متوسط و دو چند وجهی کوچک

تشکیل شده است. مولکولهای بزرگ در چند وجهی های بزرگ و مولکول های کوچک در چند وجهی های کوچک و متوسط حبس می شوند. این شبکه شامل ۳۴ مولکول آب با ترکیب  $X, Y, 34H_2O$  است که  $X$  بیانگر مولکولهای بزرگ و  $Y$  نشان دهنده مولکولهای کوچک می باشد. ۲ متیل بوتان، متیل سیکوپنتن، متیل سیکلو هگزان، و سیکلو اکتان قادر به تشکیل این نوع هیدرات می باشند. البته لازم به ذکر است که نوع  $H$  هیدرات هنگامی تشکیل می شود که مولکولهای کوچک مثل متان نیز حضور داشته باشند.



شکل شماره ۱-۳: نمای شماتیک هیدرات نوع  $H$

وجود هیدراتهای گازی وابسته به شرایط دما، فشار و ترکیب درصد گاز و آب می باشد. در شکل ۱-۴ شرایط اقلیمی مناطق دریایی و قاره ای که امکان وجود هیدرات متان در آنها وجود دارد نشان داده شده است. کمترین عمقی که امکان وجود هیدرات متان در آن وجود دارد، در نواحی قطبی است که حدود ۱۵۰ متر زیر سطح زمین است و دمای سطح زمین نیز در این مناطق کمتر از صفر درجه سانتیگراد می باشد. در نواحی دریایی، هیدراتهای گازی در مناطقی وجود دارند که دمای کف دریا نزدیک به صفر درجه سانتیگراد بوده و عمق آب نیز بیش از ۳۰۰ متر باشد. حداکثر عمقی که در آن وجود هیدرات قابل پیش بینی می باشد، توسط گرادیان حرارتی مرکز زمین محاسبه می شود. این عمق ۲۰۰۰ متر زیر سطح زمین و یا زیر کف دریاها تخمین زده شده است (Kvenvolden و Lorenson ۲۰۰۱).

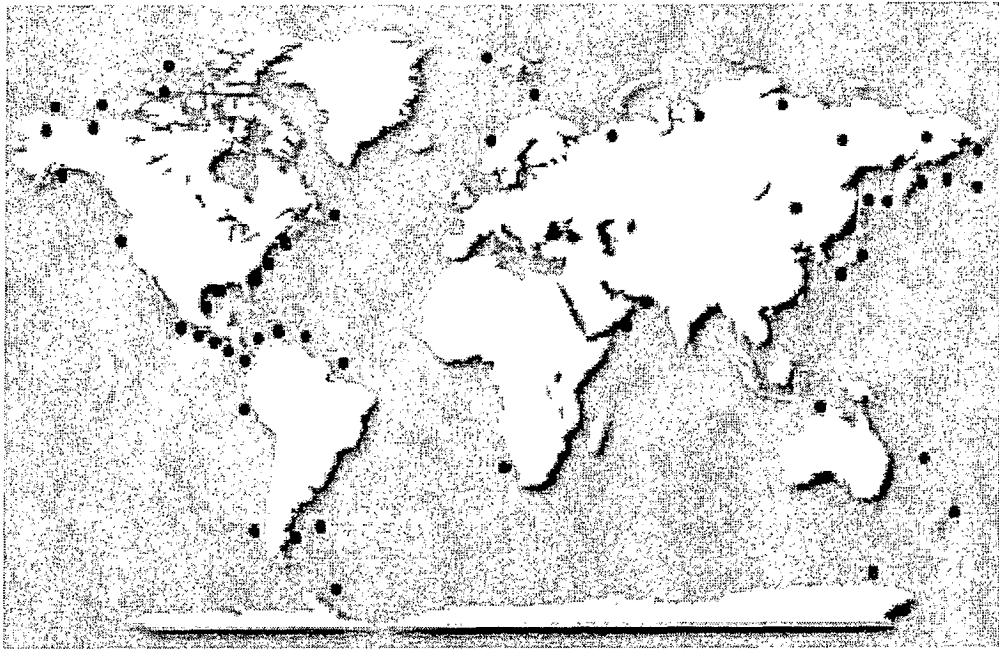


شکل شماره ۱-۴: شرایط اقلیمی مناطقی که در آنها امکان وجود هیدرات وجود دارد. (A) مناطق قاره ای قطبی. (B) مناطق دریایی (Kvenvolden, ۱۹۸۸).

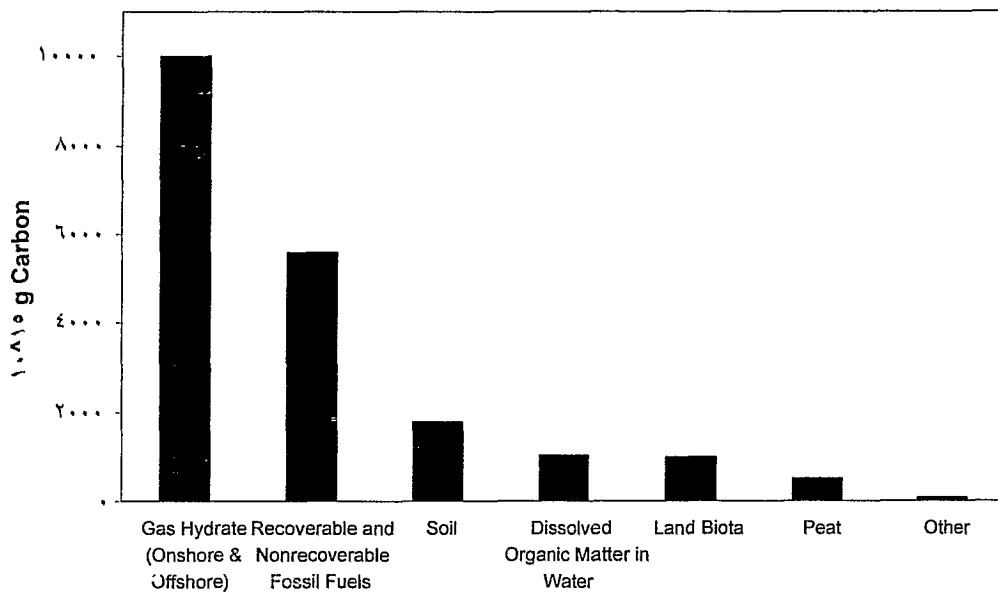
تشکیل هیدراتهای گازی نیازمند وجود میزان غلظت بالایی از متان می باشد. این میزان متان اغلب در نتیجه تجزیه نفت بوجود می آید (Sloan ۱۹۹۸).

گازهایی که سبب بوجود آمدن مخازن هیدرات می شوند، هم می توانند بر اثر فرآیندهای حرارتی بوجود آمده باشند و هم می توانند ناشی از فعالیت موجودات ریز زنده باشند. در اعماق بیش از ۱۰۰۰ متری سطح زمین، فرآیندهای حرارتی سبب تجزیه مواد آلی مدفون در زیر خاک شده و گازهای حاصل از این تجزیه با مهاجرت به نقاط دیگر، هیدراتهای گازی را بوجود آورده اند. گازهای حاصل از این نوع فرآیند، شامل مقادیر نسبتاً زیادی اتان و هیدروکربنهای سنگین تر می باشد. اما در مخازن طبیعی هیدرات، عمدتاً گازهای منشأ تشکیل هیدرات ناشی از فعالیت موجودات زنده می باشند. در این فرآیند، ترکیبات آلی طی یک واکنش شیمیایی یا بیولوژیکی در دمای پایین، به متان تبدیل می شوند. گازهای حاصل از تجزیه این نوع هیدراتها، بیش از ۹۹٪ متان دارد (Sloan ۱۹۹۸). این نوع هیدراتها در دریای خزر مشاهده شده اند. در خلیج مکزیک هردو نوع هیدرات فوق الذکر دیده شده است (Kvenvolden, Lorenson ۲۰۰۱).

اولین بار Makogon در سال ۱۹۶۵ وجود هیدراتهای گازی طبیعی در مناطق رسوبی Soviet Union را گزارش داد. از آن تاریخ به بعد مخازن هیدرات زیادی در جهان کشف شده است. براساس مطالعات (Kvenvolden و Lorenson ۲۰۰۱) حدود  $2 \times 10^{16} \text{ std } m^3$  متان در بین مولکولهای هیدراتهای گازی طبیعی جهان وجود دارد. این میزان متان حدود دو برابر متان موجود در بین مولکولهای تمام سوختههای فسیلی زمین می باشد.



شکل شماره ۱-۵: مخازن طبیعی هیدرات کشف شده



شکل شماره ۱-۶: مقایسه حجم هیدروکربور حبس شده در بین مولکولهای هیدرات نسبت به سایر منابع هیدروکربوری