# بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشکده فنی و مهندسی**
**بخش مهندسی نفت وگاز**
**پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی نفت**
**گرایش حفاری و بهره برداری**

---

# پیش بینی نرخ تشکیل هیدرات‌های گازی در خطوط لوله عملیات بهره‌برداری و انتقال گاز با استفاده از منطق فازی

---

**مؤلف :**
**محمد جواد جلال نژاد**

**استادان راهنما:**
**دکتر محمد رنجبر**
**دکتر امیر صرافی**

**استاد مشاور:**
**دکتر حسین نظام آبادی پور**

**تیرماه ۱۳۹۱**

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

**بخش نفت و گاز**

**دانشکده فنی و مهندسی**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو :

استاد راهنما۱ :

استاد راهنما۲ :

استاد مشاور :

داور ۱ :

داور۲ :

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :

**حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.**

**تقدیم به :**

پیشکش به قلبهای مهربان دو فرشته خداوند که گستره ی بالهایشان پناه بالندگی فرزند کوچکشان بود و در کشاکش دهر هماره سنگ زیرین آسیاب رشد و و زندگیم بودند

**پدر و مادر عزیز و مهربانم،**

آنان که مهر و وفا، آزادگی و از خود گذشتگی را به من آموختند و ذره ذره وجودشان را مایه پرورش و پیشرفت این همیشه کودکشان ساختند.

**و تقدیم به: زنده یاد مهندس علیرضا افضلی پور**

## تشکر و قدردانی :

جایی نرسد کس به توانایی خویش  الا تو چراغ رحمتش داری پیش

خدای مهربان و بی همتا را شاکرم که دیگر بار مهر بی پایانش را درتدوین این پایان نامه به من ارزانی نمود .

با تشکر از استاتید محترم جناب آقای دکتر محمد رنجبر ، جناب آقای دکتر امیر صرافی و جناب آقای دکتر حسین نظام آبادی پور که در طول انجام این پژوهش راهنما و مشاور من بودند.

همچنین با تشکر از اساتید محترم جناب آقای دکتر حسین جلالی فر و جناب آقای دکتر سعید جعفری که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند.

## چکیده :

موضوع هیدرات‌های گازی و پیش بینی دقیق تشکیل آنها در عملیات بهره برداری و انتقال گاز طبیعی به عنوان یکی از مهمترین چالش های روز صنعت نفت مطرح می باشد. لذا هدف اصلی این تحقیق بررسی پدیده تشکیل هیدرات های گازی در عملیات بهره برداری و انتقال گاز و نیز ارائه مدلی جدید برای پیش بینی نرخ تشکیل هیدرات های گازی در خطوط لوله می باشد. ارزیابی های اولیه نشان دادند که دستیابی به این هدف با استفاده از منطق فازی وسیستم فازی- عصبی تطبیقی امکان پذیر است. در این راستا از۹۴۶ داده تجربی نرخ تشکیل هیدرات متان، پروپان، ایزوبوتان و دی اکسید کربن به دست آمده از یک حلقه جریان آزمایشگاهی استفاده و با بکار گیری سیستم های هوشمند منطق فازی و عصبی- فازی تطبیقی مدل مورد نظر تهیه و ارائه گردید. نتایج بدست آمده حاکی از کارائی مدل طراحی شده می باشد به طوری که مقادیر به دست آمده برای میانگین کلی درصد انحراف مطلق، بین داده های تجربی و مقادیر پیش بینی شده توسط این مدل ها کمتر از ۸ درصد هستند.



واژه های کلیدی: هیدرات های گازی- مدل سازی نرخ تشکیل - منطق فازی- سیستم فازی عصبی تطبیقی

**فهرست مطالب**

**فصل اول : مقدمه** ..... ۱

**فصل دوم : هیدراتهای گازی** ..... ۶

۲-۱ هیدراتهای گازی ..... ۷

۲-۲ اهمیت هیدراتهای گازی در صنایع نفت و گاز ..... ۱۰

۲-۳ تشکیل هیدراتهای گازی در عملیات بهره برداری وانتقال ..... ۱۱

۲-۴ روشهای مقابله با تشکیل هیدراتهای گازی ..... ۱۴

**فصل سوم : منطق فازی** ..... ۱۸

۳-۱محاسبات نرم ..... ۱۹

۳-۲سیستمهای فازی ..... ۱۹

۳-۳ مروری بر سیستم های عصبی- فازی ..... ۲۸

**فصل چهارم : ارزیابی نتایج تحقیقات مرتبط** ..... ۳۲

۴-۱ مروری بر روشهای مطالعه نرخ تشکیل هیدراتهای گازی ..... ۳۴

۴-۲ مطالعات مرتبط با نرخ تشکیل هیدراتهای گازی ..... ۳۸

**فصل پنجم : روش و مراحل تحقیق** ..... ۴۶

۵-۱ جمع آوری داده های آزمایشگاهی و انجام مدل سازی ..... ۴۷

۵-۲ تعیین پارامترهای ورودی در فرآیند مدل سازی ..... ۴۷

۵-۳ مدل سازی نرخ تشکیل هیدرات های گازی ..... ۴۸

۵-۴ معرفی ورودی های بکار گرفته شده در فرآیند مدل سازی ..... ۵۰

۵-۵ نرمال نمودن داده ها..... ۵۱

۵-۶ انتخاب داده‌های آموزش و تست..... ۵۲

۵-۷ پدیده فرا انطباقی..... ۵۲

۵-۸ پیش بینی نرخ تشکیل هیدراتهای گازی با استفاده از منطق فازی..... ۵۳

۵-۹پیش بینی نرخ تشکیل هیدراتهای گازی با استفاده ازANFIS ..... ۵۵

**فصل ششم:ارائه نتایج و تحلیل یافته ها** ..... ۵۸

۶-۱ ارائه وتحلیل نتایج..... ۵۹

۶-۲ ارزیابی مدل های ساخته شده توسط ANFIS..... ۵۹

۶-۳ ارزیابی مدل های ساخته شده توسط منطق فازی..... ۶۸

**فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات**..... ۶۹

۷-۱ جمع بندی..... ۷۰

**منابع و مآخذ** ..... ۷۲

**پیوست** ..... ۸۰

**علائم اختصاری**..... ۸۵

# فهرست جدول ها

**عنوان** **صفحه**

جدول۳-۱: درستی برای پنج عملگر مهم بر روی گزاره‌ها.....۲۶

جدول ۵-۱ : عملگرهای مورد استفاده در مدل های فازی طراحی شده برای هردو حالت حضور وعدم حضور بازدارنده های سینتیکی.....۵۴

جدول ۵-۲ : عملگرهای مورد استفاده در مدل های عصبی فازی طراحی شده برای هردو حالت حضور وعدم حضور بازدارنده های سینتیکی.....۵۶

جدول شماره ۶-۱ : ارزیابی و عملکرد مدل های ساخته شده بدون بازدارنده های سینتیکی.....۶۱

جدول شماره ۶-۲ : ارزیابی و عملکرد مدل های ساخته شده با حضور بازدارنده های سینتیکی.....۶۱

جدول۶-۳ : پارامترهای تنظیم شده در ANFIS(Genfis2) بدون بازدارنده های سینتیکی.....۶۶

جدول۶-۴: میزان پارامترهای تنظیم شده در ANFIS(Genfis2) در حضور بازدارنده سینتیکی.....۶۶

جدول۶-۵ : پارامترهای تنظیم شده در ANFIS(Genfis1) در حالت بدون بازدارنده سینتیکی.....۶۷

جدول۶-۶ : پارامترهای تنظیم شده در ANFIS(Genfis3) در حالت بدون بازدارنده سینتیکی.....۶۷

جدول۶-۷ : پارامترهای تنظیم شده در ANFIS(Genfis3) در حضور بازدارنده های سینتیکی.....۶۷

جدول۶-۸ : پارامترهای تنظیم شده در Genfis2(Sugeno) بدون بازدارنده های سینتیکی.....۶۸

جدول۶-۹ : پارامترهای تنظیم شده در Genfis2(Sugeno) در حضور بازدارنده های سینتیکی.....۶۸

## فهرست شکل ها

**عنوان** **صفحه**


شکل ۲-۱:پیوند هیدروژنی میان چهار مولکول آب.....۸

شکل ۲-۲ : انواع ساختارهای هیدرات‌های گازی.....۹

شکل۲-۳ :فرآیند تشکیل هیدرات.....۱۲

شکل۲-۴ :تشکیل انسداد هیدراتی در یک سیستم گازی.....۱۴

شکل۲-۵ : نمونه‌هایی از ابزار Pigمورد استفاده در عملیات حذف انسداد از خط لوله.....۱۶

شکل ۳-۱: ساختار یک شبکه ANFIS ساده با دو ورودیx و y. .....۳۰

شکل۴-۱ : میزان مصرف گاز بر حسب زمان در فرآیند تشکیل هیدرات.....۳۵

شکل ۴-۲: نمونه‌ای از رآکتورهای فشار بالا مورد استفاده در مطالعات هیدرات‌های گازی.....۳۶

شکل ۴-۳ : شماتیک نمونه‌ای از حلقه‌های جریان.....۳۷

شکل ۵-۱: عملگرهای اجتماع،اشتراک و مکمل را برای هر دو نوع منطق کلاسیک و منطق فازی...۴۹

شکل ۵-۲ : شماتیک فرآیندهای استنتاج و ترکیب.....۵۰

شکل ۵-۳ : نمونه‌ای از پدیده ی فرا انطباقی.....۵۳

شکل ۵-۴ : ساختار کلی ANFIS(Genfis2) بدون حضور بازدارنده های سینتیکی.....۵۷

شکل ۵-۵ : ساختار کلی ANFIS(Genfis2) با حضور بازدارنده های سینتیکی.....۵۷

شکل ۶-۱ : مقادیر پیش بینی شده برای نرخ تشکیل هیدرات‌های گازی توسط ANFIS(Genfis2)در عدم حضور بازدارنده های سینتیکی برحسب مقادیر واقعی آن.....۶۲

شکل ۶-۲ : مقادیر پیش بینی شده برای نرخ تشکیل هیدرات‌های گازی توسط ANFIS(Genfis2)در حضور بازدارنده های سینتیکی برحسب مقادیر واقعی آن.....۶۳

شکل ۶-۳ : سطح تولید شده در مدل ANFIS(Genfis2) در عدم حضور بازدارنده های سینتیکی...۶۴

شکل ۶-۴ نتایج تست مدل های ( Genfis3(Mamdani و ANFIS(Genfis1) ارائه شده در عدم حضور بازدارنده های سینتیکی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و مدل تجربی طلاقت برای پیش بینی نرخ تشکیل هیدرات دی اکسید کربن در فشار های مختلف و دمای k ۲۸۰/۱۵.....۶۵

شکل ۶-۵ نتایج تست مدل های ( Genfis2(Sugeno و ANFIS(Genfis2) ارائه شده در حضور بازدارنده های سینتیکی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و مدل تجربی طلاقت برای پیش بینی نرخ تشکیل هیدرات دی اکسید کربن در فشار ۴ مگا پاسکال و دمای k ۲۸۰/۱۵.....۶۵

فصل اول

# مقدمه

## ۱ مقدمه

هیدرات‌های گازی ترکیبات جامد بلورینی هستند که از آب و مولکول‌های کوچکتر(Å۹>) تشکیل شده‌اند. هیدرات‌ها زیر مجموعه ترکیباتی هستند که به عنوان کلاتریت[۱] یا ترکیبات درگیر[۲] شناخته می‌شوند. یک ترکیب کلاتریتی ترکیبی است که درآن یک مولکول از ماده‌ای (مولکول مهمان)، در درون ساختاری که توسط مولکول‌های ماده دیگر (ساختار میزبان) ساخته شده است به دام می‌افتد. درکلاتریت‌های آب یا همان هیدرات‌ها، مولکول‌های آب سازنده ساختار میزبان هستند و مولکول‌های گازی نقش مولکول‌های مهمان را بر عهده داشته و سبب پایداری ساختار هیدراتی می‌شوند[۱و۲].

هر چند که هیدرات‌ها مدت های زیادی است که کشف شده‌اند، اما کشف آن‌ها معمولاً به شیمیدان معروف انگلیسی سر همفری دیوی[۳] نسبت داده می‌شود. وی کشف هیدرات کلر را در سال ۱۸۱۰ میلادی گزارش کرده است. تلاش‌های نخستین بر روی یافتن ترکیبات تشکیل دهنده هیدرات‌ها و شرایط تشکیل آن‌ها متمرکز بوده است. بسیاری از تشکیل دهنده‌های مهم هیدرات، در طی این دوره کشف شدند اما تا قرن بیستم اهمیت صنعتی هیدرات‌های گازی درک نشد[۲].

در قرن بیستم وبا توسعه صنعت گاز طبیعی، تولید، فرازآوری و توزیع گاز به عملیات‌هایی با فشار بالا مبدل شدند. تحت این فشارهای بالا، مشاهده شد که خطوط لوله و تجهیزات تولید و فرآوری توسط مواد یخ مانندی مسدود می‌شوند حال آن که شرایط دمایی سیستم بالاتر از دمای مورد نیاز برای تولید یخ بود. در سال ۱۹۳۴ میلادی فردی به نام همر اشمیت [۴] ثابت کرد که این مواد یخ مانند در واقع هیدرات‌های گازی هستند[۳]. بدین ترتیب موضوع هیدرات‌های گازی به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های پیش روی صنایع نفت و گاز مطرح شد.

در دهه‌های اخیر، با توجه به افزایش تعداد میادین هیدروکربنی کشف شده در زیر بسترآب‌های عمیق و نواحی سردسیر و قطبی زمین و تمایل به افزایش تولید و انتقال نفت و گاز از این ذخائر عظیم، تشکیل هیدرات های گازی به عنوان یک خطر عمده به هنگام تولید وانتقال نفت و گاز در خطوط

---

[1] -Clathrate
[2] -Inclusion
[3] -Sir Humphrey Davy
[4] -Hammerschmidt

لوله مطرح می‌باشد. شرایط مورد نیاز برای تشکیل هیدرات‌های گازی (فشار بالا ودمای پائین) شرایط متداول محیط‌های دریایی عمیق ونواحی سردسیر هستند. حضور خطوط لوله نفت وگاز در چنین شرایطی می‌تواند پتانسیل تشکیل هیدرات‌ها را افزایش دهد. دراین شرایط بلورهای هیدرات‌های گازی به یکدیگر می‌پیوندند و توده‌های جامد بزرگی را می‌سازند. این توده‌های هیدراتی قادرند خط لوله را مسدود وتولید را متوقف نمایند. سالانه میلیون‌ها دلار صرف جلوگیری از تشکیل هیدرات‌ها در طی عملیات تولید وانتقال نفت و گاز می‌شود[۴و۵].

امروزه علاوه بر اهمیت هیدرات‌های گازی در مسئله حفظ وتضمین برقراری جریان[1] در خطوط تولید وانتقال، زمینه‌های بسیار متنوع دیگری نیز در رابطه با مخاطره‌ها و کارکردهای مثبت هیدرات‌های گازی مطرح‌اند که از جمله مهمترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود :

- مشکلات ناشی از تشکیل هیدرات‌هادر ضمن عملیات حفاری
- استفاده از ذخایر درجای هیدرات‌های گازی به عنوان منابع عظیم تأمین انرژی آینده
- وابستگی هیدرات‌ها به تغییرات آب وهوایی
- تاثیر هیدرات‌های درجا بر مقاومت رسوبات در بر گیرنده آن‌ها
- استفاده از هیدرات‌های به عنوان جایگزینی برای خطوط لوله وانتقال گاز به شکل هیدرات
- استفاده از هیدرات‌های گازی برای ذخیره سازی گاز
- استفاده از هیدرات‌های گازی در کاهش آلایندگی صنایع و صنعت تهویه مطبوع و....

با توجه به موارد ارائه شده، اهمیت و ضرورت مطالعه پیرامون موضوع هیدرات‌های گازی به وضوح نمایان است. در تمامی این موارد وکاربردها، پرداختن به دو مسئله بسیار حائز اهمیت است :۱)شرایط ترمودینامیکی فرآیند تشکیل هیدرات و ۲)سینتیک فرآیند. در حوضه مطالعات ترمودینامیکی، پیشرفت‌های بسیار بزرگ و ارزنده‌ای در زمینه‌های مختلف به ویژه پیش بینی شرایط تشکیل و تعادل هیدرات‌های گازی به دست آمده است[۱و۲و۶].اما در حوضه سینتیک فرآیند، با وجود مطالعات

[1] -Flow Assurance

ارزشمندی که توسط محققان مختلف به ویژه در سه دهه اخیر انجام شده است[۱۱-۷]، به نظر می‌رسد که این شاخه از مطالعات، هنوز در اول راه خود است و بسیاری از موضوعات مرتبط با فرآیند های هسته زایی ورشد بلورهای هیدرات همچنان دچار ابهاماتی بوده وبه وضوح مشخص نشده‌اند[۱۲].

از جمله مواردی که در زمینه سینتیک بلورسازی هیدرات‌ها بسیار حائز اهمیت است، موضوع نرخ تشکیل هیدرات‌های گازی[1] است. به عبارت دیگرآگاهی داشتن از میزان هیدرات تشکیل شده در یک بازه زمانی، در مطالعه سینتیکی هیدرات‌ها ضروری است[۱۲]. پیش بینی نرخ تشکیل هیدرات‌های گازی در ساخت مدل‌های دقیق برای توصیف و پیش بینی فرآیند تشکیل هیدرات‌های گازی در ساخت مدل‌های دقیق برای توصیف و پیش بینی فرآیند تشکیل هیدرات، بررسی مکانیزم‌های هسته-زایی و رشد انسدادهای هیدراتی در خطوط لوله و نیز ارزیابی کارایی انواع بازدارنده‌های هیدرات حائز اهمیت است[۱۳].

یکی از جدید ترین روش‌هایی که امروزه برای مطالعه نرخ تشکیل هیدرات، ارزیابی کارایی بازدارنده‌های هیدرات، مطالعه تاثیر شرایط و عوامل عملیاتی مختلف بر پدیده تشکیل هیدرات و نیز بررسی رئولوژی سوسپانسیون‌های هیدراتی مطرح است، استفاده از حلقه‌های جریان[2] است که در دو مقیاس صنعتی و آزمایشگاهی طراحی شده‌اند[ ۱۶-۱۴].

به طور کلی، اهداف و انگیزه‌های این تحقیق را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود :

- بررسی پدیده تشکیل هیدرات‌های گازی در عملیات بهره‌برداری وانتقال گاز
- بررسی راه‌های مقابله با تشکیل هیدرات‌های گازی
- بررسی نقش پارامترهایی چون دما، فشار وغلظت مواد بازدارنده بر نرخ تشکیل هیدرات‌های گازی
- ارائه راهکاری به منظور پیش بینی نرخ تشکیل هیدرات‌های گازی با استفاده از منطق فازی و بر اساس داده‌های آزمایشگاهی

[1] -Hydrate Formation Rate(HFR)
[2] -Flow Loop

برای دستیابی به این اهداف از جدیدترین کتاب‌ها و مقالاتی که در زمینه هیدرات‌های گازی منتشر شده‌اند استفاده شد. با توجه به مطالعاتی که تا کنون بر روی نرخ تشکیل هیدرات‌های گازی صورت گرفته است، می‌توان گفت که اثر این مطالعات به بررسی این موضوع به وسیله راکتورها پرداخته‌اند وتنها تعداد انگشت شماری از مطالعات با استفاده از حلقه‌های جریان انجام شده است. لازم به ذکر است که تنها یکی از این مطالعات مدلی  را بر اساس داده‌های به‌دست آمده از این حلقه‌های جریان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه داده است[۳۳] و مطالعات دیگر تنها به بررسی پدیده تشکیل هیدرات و اندازه‌گیری نرخ تشکیل هیدرات در خط لوله بسنده کرده‌اند[۱۷]. در این تحقیق علاوه بر مطالعه پدیده تشکیل هیدرات‌های گازی در خطوط لوله تولید و انتقال گاز، برای اولین بار به پیش بینی نرخ تشکیل هیدرات‌های گازی توسط منطق فازی و با استفاده از داده‌های تجربی آزمایشگاهی پرداخته شده است.

فصل دوم

# هیدرات‌های گازی

## ۲-۱ هیدرات‌های گازی

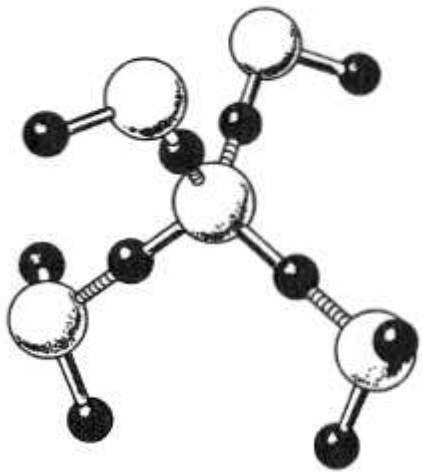
هیدرات گاز طبیعی ترکیب کریستالی جامدی است که از ترکیب آب و گاز به وجود می آید و جزء خانواده کلاتریت ها[۱] محسوب می شود. مولکول‌های گازی مهمان [۲] درون حفرات شبکه آب (میزبان[۳])، که از طریق پیوند هیدروژنی بین مو لکول‌های آب به وجود آمده است، گیر می افتند. نمونه بارز این مولکول‌های گازی ترکیبات کوچکتر از پنتان موجود در گاز طبیعی از قبیل متان، اتان، پروپان و کربن دی اکسید می‌باشد.

هیدرات گازی می تواند به وسیله گاز خالص یا مخلوط گازی متشکل از دو یا چند جزء تشکیل شود.کلاتریت‌ها به عنوان یک محلول جامد تلقی می شوند که در آن ها مولکول‌های گازی مهمان و گازهای تشکیل دهنده هیدرات[۴] در تماس با شبکه میزبان(آب) قرار می گیرند. بنابراین هیدرات گازی جزء جامدات غیراستوکیومتریک[۵] شناخته می شود. بین مولکول‌های آب در ساختار هیدرات پیوند هیدروژنی قوی وجود دارد، در حالی که هیچ گونه بر هم کنش شیمیایی میان مولکول‌های مهمان – میزبان وجود ندارد وآن‌ها تنها با نیروهای واندروالسی کنار هم نگه داشته می‌شوند.

ساختار هیدرات شامل ۸۵ درصد آب می‌باشد. به همین دلیل بسیاری از خواص مکانیکی آن مشابه یخ می‌باشد. بنابراین بهتر است ابتدا راجع به مولکول آب و ساختمان آن کمی توضیح داده شود. می‌دانیم که یک مولکول آب در حالت گازی، شامل یک اتم اکسیژن و دو اتم هیدروژن است. اتم اکسیژن دارای چهار الکترون در مدار آخر است که دو الکترون را به اشتراک با دو اتم هیدروژن گذاشته است. این سه اتم در یک ساختمان، با شکل هرمی(با قاعده مثلث) قرار می‌گیرند واتم اکسیژن از مرکز هرم کمی به سمت گوشه آن کشیده شده است. مولکول آب در حالت مایع این جفت الکترون آزاد اکسیژن را به طور نسبی در اختیار سایر هیدروژن‌های مولکول‌های دیگر آب می‌گذارد و باعث ایجاد پیوند هیدروژنی می‌شود. با تشکیل این پیوند یک شبکه پلیمری درآب به صورت فاز مایع تشکیل می-شود. در شکل ۲-۱ پیوند هیدروژنی به صورت میله‌های هاشور خورده نشان داده شده است.

---

[1]- Clathrates
[2]- Guests
[3]- Host
[4]- Hydrate former
[5] - Non-Stoichiomettric



شکل ۲-۱:پیوند هیدروژنی میان چهار مولکول آب[۱]

محققین با مطالعه ساختمان آب در حالت مایع متوجه شده‌اند که حلقه‌های تشکیل شده از مولکول‌های آب ناشی از پیوند هیدروژنی بسیار پایدارتر از زنجیرهای باز با همان تعداد مولکول هستند. با مطالعات دینامیکی، پلامر و چن [1] نشان داده‌اند که اگر این حلقه‌ها شامل پنج مولکول آب باشد دوازده تا از این حلقه ها تشکیل یک ۱۲ وجهی منتظم را می دهند که به صورت $5^{12}$ نشان داده می شود، این ساختمان تنها حالت پایدار مولکول آب به صورت مایع در دمای بالاتر از ۲۳۰ درجه کلوین است.

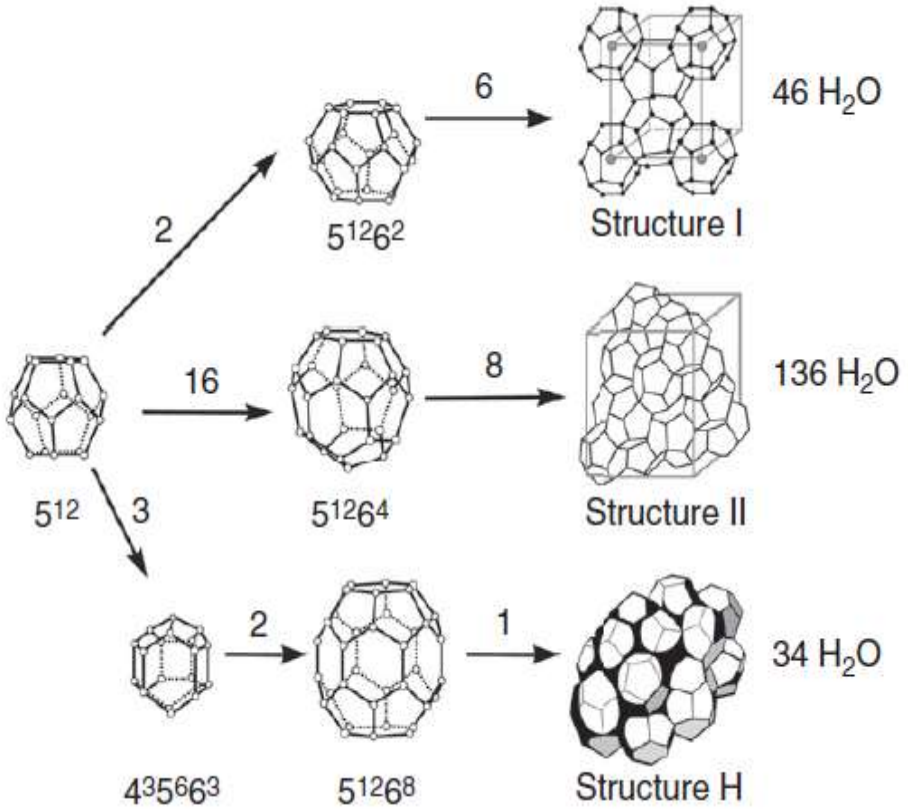
نخستین بار ویژگی‌های ساختمان شبکه کریستالی هیدرات به وسیله اشعه ایکس توسط مولر[2] مطالعه شده است. بر اساس نظریات وی تا آن زمان دو نوع شبکه کریستالی برای هیدرات شناسایی شده بود. هر دو ساختار مکعبی بوده و تحت عنوان ساختارهایIوII شناخته شده بوده اند.

تا قبل از کشف ساختمان دیگری که به ساختمانH معروف شده است، تصور بر این بود که مولکولهای بزرگتر از نرمال بوتان به علت بزرگی اندازشان نمی توانند در فضای ایجاد شده در شبکه کریستالی هیدرات قراربگیرند و به همراه آب کریستال هیدرات را به وجود آورند. ریپمیستر[3] با کشف کریستال هیدرات نوع Hنشان داده است که مولکول هایی نظیر متیل سیکلو هگزان با همراهی

[1] Plummer and Chen
[2] Muller
[3] Ripmeester

مولکول های گازی کوچک دیگر نظیر متان و یا سولفید هیدروژن که گاز کمکی[1] نامیده میشوند، نیز میتوانند کریستال هیدرات نوعH را تولید نمایند.

ساختار هیدرات‌های نوع II به طور قابل ملاحظه ای پیچیده‌تر از هیدرات‌های نوعI است. پروپان، ایزوبوتان و نیتروژن از جمله رایج ترین سازندگان این ساختار هستند. هیدرات‌های نوع Iو II می‌توانند در حضور یک سازنده منفرد تشکیل شوند اما نوع H نیازمند حضور دو سازنده است: یک مولکول کوچک مثل متان و یک مولکول سازنده نوع H. گونه‌های هیدروکربنی چون ۲-متیل بوتان،۲و۲ دی متیل بوتان، متیل سیکلو پنتان وسیکلو اکتان وبرخی ترکیبات دیگر جزء سازندگان هیدرات نوع H هستند. در شکل ۲-۲ جزئیات بیشتری در رابطه با این ساختارها نشان داده شده است[۱۷و۲] .




شکل ۲-۲ : انواع ساختارهای هیدرات‌های گازی [۱] .

[1] Help gas