تهیه انبارهای زیر زمینی هیدروکربورها

(بااستفاده از بررسی‌های زمین‌شناسی)

نوشته‌ی

مهندس کریم یوسفی

دانشکدهٔ فنی

پیشگفتار:

یکی از وسایل ایجاد هماهنگی بین تولید و مصرف و جلوگیری از بحرانها و نواسانات شدید قیمتها ذخیره و انبارکردن مواد در زمانهای کم مصرف برای مواقع پرمصرف است. انبارهای ذخیره مواد در واقع نقش تامپون را بین دومرحله تولید و مصرف بازی مینمایند.

در مناطق تجمع جمعیت‌ها ، صرف‌نظر ازعلل سیاسی ، چرخش سال و پیش‌آمدهای طبیعی مسببین عمده ایجاد ناهماهنگی بین عرضه و تقاضا میباشند. این عدم تعادل معمولاً بطور طبیعی بدو گونه تظاهر مینماید. در مورد مواد غذائی معمولاً تقاضا درسال ثابت ولی عرضه متغیر است. اما در مورد سوختهای گاز و مایع که مورد بحث این مقاله میباشد ، قضیه بعکس است. یعنی عرضه تقریباً ثابت وتقاضا در فصول مختلف متغیر است. درکشورهائی که لوله کشی گاز دارند گاهی مصرف زمستان ۵ برابر تابستان میشود. بنابراین برای جلوگیری از بحران در این زمینه ، لازم است که مواد مزبور درفصول کم مصرف سال در نزدیکی مناطق مصرف برای فصول پرمصرف ذخیر وانبار شوند. برای ذخیره کردن این مواد مشکلات زیر در مقابل مهندسین قرار میگیرد :

۱- احتیاج بفضا زیاد: اگربمنظره‌هوائی‌مناطق‌پالایشگاهها توجه‌نمائیم تااندازه‌ای‌اهمیت این‌مسئله تجسم واقعی پیدا مینماید. دراین مناطق‌مخازن نفت وگازقسمت اعظم فضای ناحیه را اشغال نموده و چون منبع باروتی‌هرلحظه مورد خطرحریق و انفجار است.

۲- هزینه گزاف : ساختن‌چنین‌مخازن عظیمی‌هزینه زیاد برای مؤسسات و دولتها ایجاد می‌نماید و بالنتیجه باعث افزایش‌قیمت این‌محصولات میگردد.

۳- تدارکات ایمنی این تأسیسات بسیار گران تمام میشود. حفاظت آنها بسیار مشکل بوده بهمین جهت حق بیمه این نوع تأسیسات خیلی بالا است.

برای حل اشکالات بالا مهندسین بفکر استفاده ازساختمانهای زمین‌شناسی افتادند. این فکر از دو نظر مورد توجه زیاد واقع شد: ابتدا ازنقطه نظر گنجایش و ظرفیت عظیم این مخازن دیگر از نظر ایمنی قابل توجهی که میتوانند عرضه نمایند. امتیازسوم این مخازن عدم احتیاج بفضاست که درشهرها و مراکزپرجمعیت مضیقه بزرگی است.

۱- انبارهای زمین‌شناسی تاقدیسی

فکر ایجاد انبارهای گاز زیرزمینی تقریباً نیم قرن پیش برای اولین بار در اتازونی پیدا شد. زمینهای آمریکای شمالی دارای ساختمانهای زمین‌شناسی زیادی است. این ساختمان‌های قدیمی قبلاً مخازن طبیعی گاز و یا نفت بوده‌اند که پس از بهره‌برداری کامل متروك شده‌اند. چرا نتوانیم سنگهای متخلخل و نفوذ - پذیری که زمانی بطور طبیعی گاز یا نفت در خود ذخیره داشته‌اند مجدداً موادی در آنها ذخیره نمائیم؟ مهندسین زمین شناسی و بهره برداری از مخازن باین سئوال که احتیاج درمقابل آنها قرار داده بود جواب مساعد دادند و برای اولین بار در سال ۱۹۱۰ در کانادا نخستین انبار گاز زیر زمینی مورد استفاده واقع گردید.

الف - استفاده ازمخازن متروك قدیمی:

برای اجرای این طرح درمراحل اولیه مسلماً مخازن متروك که زمانی بطورطبیعی گاز یانفت درخود ذخیره داشته‌اند مناسب‌ترین شرایط را دارا خواهند بود و سهل‌ترین راه حل بنظر میرسد. بخصوص اطمینان به‌نفوذ ناپذیری کامل طبقه پوشش مخزن ونداشتن مفر که از مشکلات عمده بررسی این نوع مخازن را تشکیل میدهد، خود امتیاز بزرگی محسوب میشود. در حال حاضر در آمریکا بیش از ۲۰۰ مخزن از این نوع مورد استفاده واقع میشود.

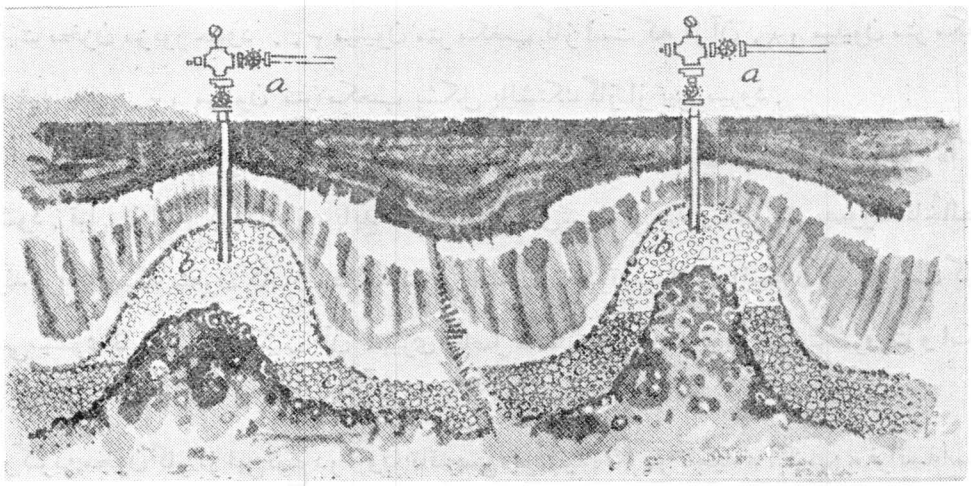
باید توجه داشت که مسئله باین سادگی نیست، علاوه بر بررسی‌های دقیق زمین‌شناسی و مسائل مربوط بمهندسی مخازن وپیش بینی‌های لازم اعلب در عمل مشکلات زیادی در مقابل مهندسین قرار میگیرد.

ب - جستجوی مخازن جدید:

اگر در حوالی مورد نیاز تاقدیس قدیمی و متروك وجود نداشته باشد گاهی احتیاج زیاد ایجاب مینماید که ساختمان جدید و مناسبی در زیر زمین جستجو نمود. همانطورکه میدانیم یک مخزن گاز یا نفت باید ۳ شرط عمده داشته باشد که عبارتند از: وجود یک طبقه یاتوده سنگ متخلخل بنام سنگ مخزن (مانند ماسه سنگ، آهک متخلخل .....) یک لایه سنگ نفوذناپذیر بنام سنگ‌پوشش (مانندرس، نمک، گچ ...) که روی مخزن را پوشانده و ازحرکت هیدروکربور را بسمت بالا مانع میشود. این مجموع باید شکل خاصی داشته‌باشند تاازفرارجانبی هیدروکربور جلوگیری نمایند این شکل راخاص تله[1] میگویند. مهمترین این اشکال

۱- Piège

ساختمانی ، ساختمان تاقدیسی است که در اثرحرکات تکتونیکی طبقات رسوبی بوجود میآید (شکل ۱). از مشخصات مهم یک تله این است که در تمام مراحل تکامل ساختمانی خود در لایه پوشش آن شکستگی ویا شکافی ایجاد نشده باشد. درچنین شرایطی اگرهیدروکربور خلل و فرج سنگ مخزن را پر نکرده باشد ، معمولاً آبهای زیر زمینی آنرا اشغال مینمایند. در یک مترمکعب سنگ متخلخل ماسه‌ای بطور متوسط تقریباً ۲۰۰ لیتر آب وجود دارد ، یعنی تقریباً برابر $\frac{۱}{۴}$ حجم چنین سنگ مخزنی میتوان درآن هیدروکوبور ذخیره کرد. جستجوی چنین ساختمانهای مناسبی که جمیع شرایط لازم را دارا باشند بعهده رمین‌شناسان وژئوفیزیسین ها است. اگرضخامت سنگ مخزن را ۱ متر و طول و عرض آنرا هرکدام ۲ کیلومتر در نظر بگیریم (مشخصات یک مخزن متوسط) خواهیم دید که این مخزن میتواند ۱ میلیون مترمکعب آب درخود ذخیره داشته باشد. و بالنتیجه میتوان تقریباً همین مقدار هیدروکربور جانشین آن نمود.



شکل ۱

در موقع تزریق گاز بداخل مخزن تمام آب محتوی آن رانده نمیشود. مقداری آب که اطراف دانه‌ها را آغشته کرده و بنام آب قشری[1] موسوم است باقی میماند. این مقدار بظاهر کم است ولی در جمع کل مخزن مقدار قابل توجهی میشود. اگر فرضاً مایع یا گاز بتواند حداقل نصف فضای مخزن را اشغال نماید. در مخزنی باابعاد بالا درفشار ۵۰ کیلوگرم برسانتیمتر مربع که مساوی فشار هیدرواستاتیک در عمق ۵۰۰ متری است میتوان ۲۰ میلیون مترمکعب گاز تزریق وذخیره نمود از چنین مخازنی مقدار کل برداشت گاز برابر مقدار تزریق شده نخواهد بود. مخزن کمتر از آنچه سپرده‌ایم بما تحویل میدهد ، زیرا پس از تزریق کامل گاز در یک مخزن آبدارهنگام برداشت معمولاً دبی مخزن متناسب بافشار استوکاژ است ولی بعد بتدریج فشار و دبی افت میکند و در این موقع سطح آب پس رانده شده شروع ببالا آمدن میکند. سرعت این حرکت بستگی به‌نفوذ پذیری سنگ مخزن دارد. اگر دبی مخزن بااین سرعت تنظیم نشود اغلب بعلت یکنواخت نبودن

۱- Pelliculaire

نفوذپذیری درنقاط مختلف ، مقداری ازگاز در داخل آب درگیر میشود وامکان خروج اتصالی و قابل استفاده خود را از دست میدهد. این مقدار گاهی به ۲۰ تا ٤ درصد کل ذخیره میرسد وبنام مقدار فوت شده یا از دست رفته ذخیره نامیده میشود. این پدیده را اصطلاحاً بالشتک گاز[۱] میگویند. بهمین جهت همواره بایستی در بهره برداری این مخازن رعایت کلیه مسائل مربوط بمهندسی مخزن را نمود تاچنین ضایعاتی پیش نیاید. نمونه این نوع مخازن درآمریکا نزدیک شیکاگو ودر آلمان نزدیک هانور مورد استفاده واقع شده است. درفرانسه دو نمونه میتوان ذکر نمود یکی در حوالی پاریس درناحیه«بین»[۲] ، دیگری نزدیک «مون ـ دو ـ مارسن» واقع شده است.

تاقدیس «بین» نسبتاً مسطح وارتفاع آن بیش از ۲۳ متر نمیباشد طول این تاقدیس ۵/۰ و عرض آن ۲/۲ کیلومتر است. سنگ مخزن آن از ماسه دانه ریز تشکیل شده و در عمق ۴۰۰ متری از سطح زمین قراردارد. ضخامت متوسط طبقه مخزن تقریباً ۳۰ مترو سنگ پوشش آن رسی است سیاهرنگ و کاملاً غیرقابل نفوذ. ظرفیت مخزن مزبور حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب گاز است که از آن ۱۸۰ میلیون متر مکعب قابل برداشت وبقیه یعنی ۱۲۰ میلیون متر مکعب بشکل بالشتک گاز از بین میرود.

این مخزن ازگاز کارخانه کک سازی وهمچنین گاز مخزن معروف «لاک»[۳] درناحین «آکیتین»[٤] تغذیه میشود. قبل از انبار کردن گاز ، باید اثر گاز و عوامل شیمیائی که بمقدار کم بصورت ناخالصی درآن وجود دارند برروی سنگ مخزن کاملاً مطالعه شود. اغلب در موقع برداشت ازمخزن نیزترکیب گازبفواصلی معین بررسی میشود تا اگر در ترکیب آن تغییری حاصل شده باشد متوجه و در صورت ضرورت و امکان از آن جلوگیری شود.

بزرگترین مخزن گاز از این نوع در اروپا تاقدیس«لوسانیه»[۵] در ناحیه « آکیتین» فرانسه است که گاز مخزن«لاک» در آن ذخیره میشود در زیر ۳۰۰ مترمارن کاملاً غیرقابل نفوذ طبقه ماسه‌ای بضخامت ٤۵ متر قرار دارد. ساختمان این تاقدیس توسط مطالعات ژئوفیزیک وزمین شناسی کشف وبررسی گردیده‌است. یک چاه اکتشافی برای کاوشهای نفتی قبلاً درآن حفاری شده که باب زیرزمینی تحت فشار وبحالت آرتزین برخورد نموده است. وجود آب تحت فشار مبین سالم و کامل بودن پوشش مخزن میباشد. گنجایش این مخزن که اکنون مورد استفاده برای ذخیره گاز واقع شده ۷۰۰ میلیون متر مکعب گاز میباشد توسط ۲۳ چاه تزریق و استخراج اداره میشود.

درصد گوگرد گازحوزه «لاک» که مخزن مزبور ازآن تغذیه میشود بالا است(اسیدسولفیدریک ۱۵٪) بطوریکه قسمت اعظم گوگرد مصرفی اروپا ازاین حوزه تأمین میشود. گاز مزبور بعلت بالا بودن درصد گوگرد درآن تامدتی پس از کشف قابل استفاده نبود. زیرا هنگام خروج بادرجه حرارت زیاد(۱٤۰)وفشار Kg/Cm^2 ۶۷۰.

۱- Coussin de gaz ۲- Beynes ۳- Lacq

٤ - Aquitaine ۵ - Lussagnet

هرنوع فلز یا آلیاژیکه درمسیرش قرار داشت میخورد وازبین میبرد. شرکت ملی نفت آکیتین برای حل این مسئله متوسل بدستگاههای تحقیقاتی متالورژی فرانسه شد. بررسی و کوشش مهندسین بالاخره بنتیجه رسید و توانستند آلیاژ مورد نظر راتهیه و بهره‌برداری از این مخزن عظیم را آغازنمایند.

برای اینکه گاز مزبور را به‌مخزن جدید تزریق کنند لازم‌است ابتدا آنرا کاملاً عاری از گوگردنمایند. موقع تزریق درترکیب آن ۹۶ درصد متان، ۲/۵ تا ۳ درصد اتان و۳/. تا ۵/. درصد بوتان و پروپان وجود دارد. هنگام برداشت از مخزن در صورت لزوم مجدداً گاز تصفیه میشود. بخصوص چون کمی هیدراته شده است آنرا دزیدراته[1] مینمایند.

۲ - استفاده ازحفره‌ها وغارهای زیرزمینی :

الف - ذخیره سوختهای مایع :

برای ذخیره سوختهای مایع مثل سوخت کوره و گاز مایع غارهای طبیعی و مصنوعی امکانات زیادی در اختیار انسان قرار میدهند. بنظر میرسد برای اولین بار در سوئد این فکر مورد توجه واقع گردید. در حدود ۱۹ سال پیش مهندس سوئدی Edholm در مقابل احتیاج مبرم بمکان مناسب برای انبار کردن مقدار زیادی نفت سوخت مورد احتیاج مرکز برق Vasteros بفکر استفاده از معدن متروك فلدسپات Hoiska در ساحل شرقی کشور که بهره‌برداری از آن پایان یافته بود افتاد. پس از بررسی‌های لازم این طرح باموفقیت تحقق یافت واز سال ۱۹۴۸ مورد استفاده واقع شد. اکنون میتوان باقایقهای کوچک در دریاچه‌ای بمساحت ۲۰۰۰ متر مربع در زیرزمین برروی مواد نفتی قایقرانی نمود. این مسئله در اتازونی نیز بلافاصله مورد توجه واقع شد و شرکت اسو استاندار اولین بررسی خود را متوجه معدن روباز سنگ لوح[2] شمال‌شرقی پنسیلوانیا کرد. این معدن بزرگ مخزنی بظرفیت ۲ میلیون متر مکعب برای هیدروکربور مایع فراهم نمود. این مقدار سوخت مایع برای مصرف زمستان ناحیه‌ای باجمعیت ۳۵۰۰۰ نفر کافی است. از امتیازات عمده سنگ لوح (سیلیکات آلومینیم) این است که از نقطه نظر شیمیائی خنثی است واثری برهیدروکربور مخزن شده نمیگذارد سقف آن برای جلوگیری از آلوده شدن بگرد وخاك وهمچنین اثر آفتاب توسط صفحاتی پوشیده شده است.

ب - ذخیره گازهای مایع :

برای ذخیره گازهای مایع شده باید مخازنی انتخاب نمود که بتوانند درمقابل فشار حاصل از بخار گاز مایع درحرارت محیط مخزن مقاومت نمایند. در حرارت ۰ درجه که در غارهای زیرزمینی دیده میشود فشار مطلق گازپروپان ۲/۰۶ هکتوپیز[3] و بوتان ۸/۰۵ هکتوپیز است.

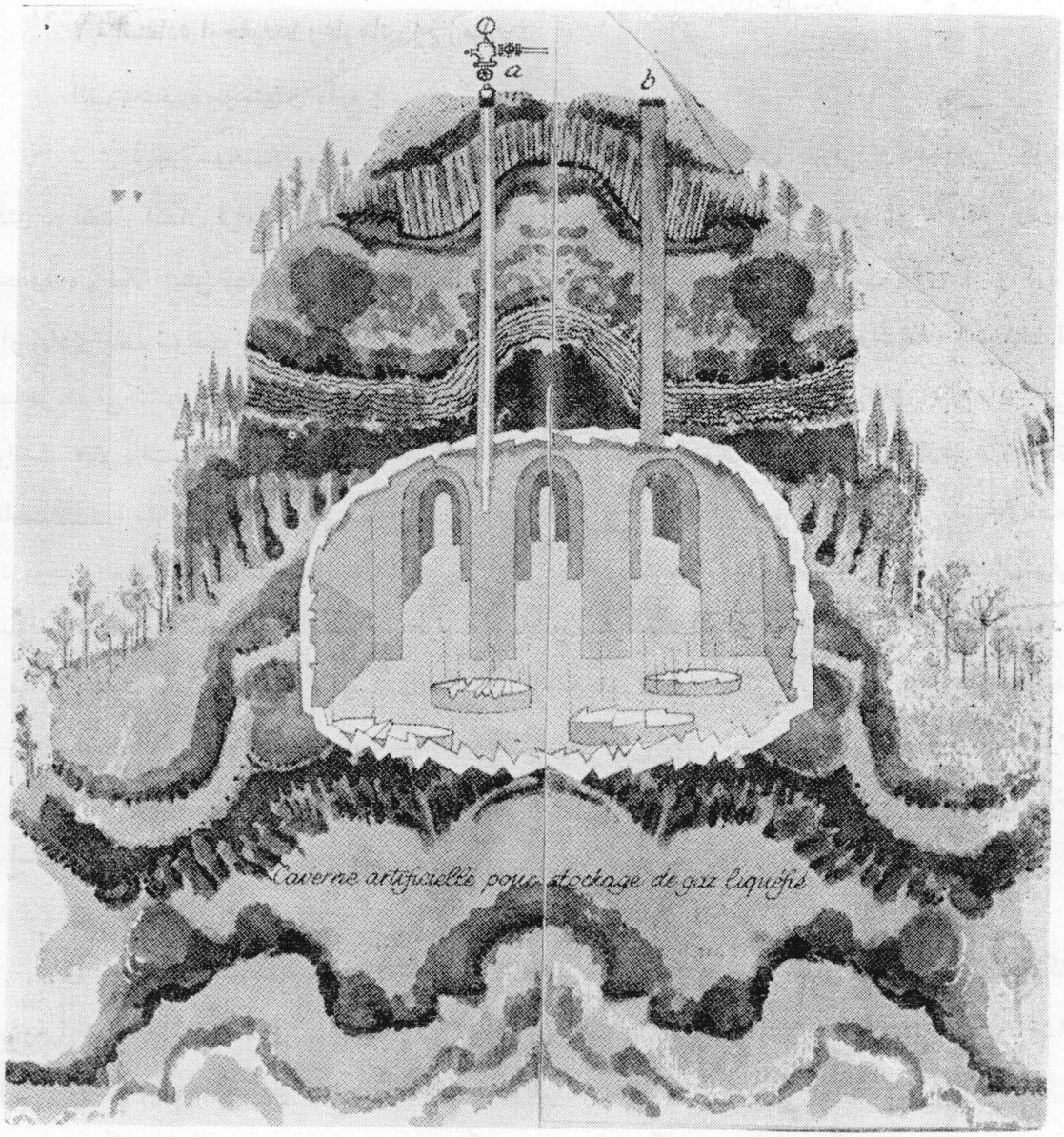
در بین گازهائی که مصرف سوخت دارند گاز زغال سنگ، گازهای طبیعی و گازهای حاصل از عمل

۱- Deshydraté ۲- Ardoise ۳- Hectopièze

تقطیر مواد نفتی اهمیت بیشتری دارند. در بین سوختهای مایع ، نفت سوخت در درجه اول اهمیت است. نفت سوخت بدو شکل سوخت خانگی و سوخت سبک مصرف میشود.

برای ذخیره گازها صرف این است که ابتدا آنها را بمایع تبدیل نمود و سپس انبار کرد. این عمل بخصوص در مورد گازهای بوتان وپروپان زیاد انجام میشود زیرا ۲۲٤ مترمکعب گاز بوتان بیک مترمکعب گازمایع تبدیل میشود.

اصطلاح انگلیسی L. P. G. [1] نماینده مخلوطی از چندهیدروکربور گازی است که بسادگی در درجه حرارت معمولی و بافشار متوسط مایع میشود.



شکل ۲ - مخزن گازمایع در طبقات رسی نفوذناپذیر

۱-Liquified petroleum Gas

برای کشف انبار زیر زمینی مناسب جهت گازهای مایع دو اصل کلی را باید رعایت نمود : برای جلوگیری از فرار گاز مایع عمق مخزن باید باندازه‌ای باشد که فشار هیدرواستاتیک مخزن برفشار بخار گاز مایع در حداکثرحرارت محیط غلبه نماید. همچنین نوع زمین باید طوری انتخاب شود که دارای حداقل نفوذ پذیری باشد تا از ورود بیش از اندازه آب به‌مخزن جلوگیری نماید. در این شرایط معمولاً گازمایع نمیتواند در طبقات نفوذ نمایند و فقط لازم‌است مقدار کمی‌آب که از طبقات به‌مخزن داخل‌میشود، پمپ وخارج نمود. وقتی که شرایط مخزن مناسب باشد ، درمرحله اول استفاده ازمخزن مقدار ذخیره از دست رفته معمولاً کمتر از ۵/۰ درصد است. در دفعات بعد این مقدار بازهم کمتر خواهد شد. شرکت نفت اسواستاندار در نزدیک پالایشگاه خود در بایوی[1] دوغار مصنوعی جهت ذخیره گاز مایع بوجود آورده است. این غارها در طبقات شیستی در عمق ۱۰۰ متری طوری کنده شده‌اند (شکل ۲) که سقف آنها توسط ستونهائی از خود طبقات نگاهداری میشود.

این غارها از تونلهائی‌بپهنای ٤ متر وارتفاع ۷ متر متصل بهم درست شده‌اند. در این دو حفره زیر زمینی ۱۰۸۰۰۰ مترمکعب گاز مایع میتوان ذخیره کرد.

قطردهانه چاههای ورود بغار باید کم باشد تابتوان در آنها را طوری محکم بست که از خروج گاز در فشار $7/62\ Kg/Cm^2$ (فشاریکه لازم است تا گاز بحالت مایع بماند) جلوگیری‌نمود. در بایوی قطردهانه چاه $0.1\ cm$ است وبرای اینکه بتوان از بولدزور، مته های فشارهوا و وسایل‌مکانیکی‌دیگر درحفاری استفاده نمود آنهارا بصورت قطعات مجزا از دهانه چاه به محوطه‌ایکه ابتدا حفاری شده میفرستند و در آنجا قطعات را سوارو استفاده مینمایند.

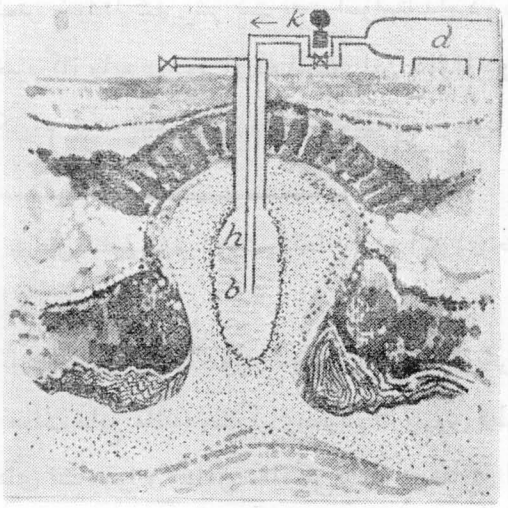
۳ - استفاده از گنبدهای نمکی

وقتی لایه‌های نمک بین طبقات زمین‌شناسی تحت فشار قرار میگیرند بعلت دارا بودن خاصیت پلاستیسیته زیاد و اختلاف فشار طبقات روئی شروع بتجمع مینمایند. این تجمع باعث ایجاد شکافهائی در طبقات بالائی ناحیه تجمع میگردد. در این موقع توده نمک بعلت دارا بودن وزن مخصوص کمتر از طبقات روئی وخاصیت پلاستیسیته شروع بصعود مینماید ومانند ستونی طبقات را قطع کرده وقتی به‌سطح زمین رسید مانند کلاهک قارچ گسترده میشود و شکلی شبیه بقارچ بخود میگیرد(شکل ۳ و ٤)

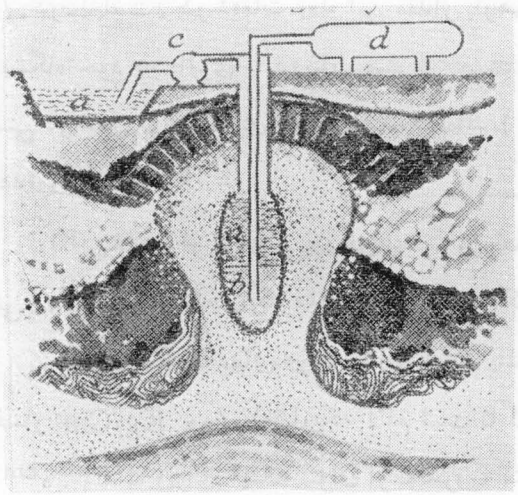
گاهی طبقات روئی لایه‌های نمکی چندین هزار متر ضخامت دارند دانشمندان سرعت حرکت توده‌های نمکی را حدود سانتیمتر در سال محاسبه نموده‌اند. ملاحظه میشود که طی طریق توده‌های نمکی ممکن است گاهی چندین میلیون سال طول بکشد. نمونه گنبدهای نمکی در ایران خیلی‌فراوان است از جمله در جنوب ایران در نواحی جزیره هرمز گنبدهای نمکی دوره کامبرین. در نواحی مرکزی ایران از جمله گنبد نمک معروف قم که در موقع حرکت تهران بقم تقریباً ۲۰ کیلومتر بقم مانده درسمت راست جاده

۱- Bayway

بشکل گنبدی بزرگ برنگ قرمز آجری مشاهده میشود. رنگ قرمز آجری آن بواسطه وجود رسهای قرمز رنگ است که بصورت ناخالصی در نمک وجود دارد و بمرور زمان که نمک در اثر شتشوی باران حل و حمل شده، ناخالصی مزبور بر جا مانده و بشکل قشر نازك قرمز رنگ آن را پوشانده است. سن اصلی این توده، پس از مطالعات زیاد توسط شرکت ملی نفت، ائوسن تعیین شده است. طبقات روئی که این توده نمکی از آنها گذشته و بسطح رسیده، سری U.R.F. [1] و Q.F. [2] میباشد که در حدود سه هزار متر ضخامت دارند.



شکل ۳



شکل ٤

زمین‌شناسان نفتی میدانند که حواشی گنبدهای نمکی از نقاط بسیار مستعد برای تجمع هیدروکربورها میباشد. بدین جهت بررسی‌های دقیقی در آنها انجام شده است.

توده‌های عظیم متبلور و فشرده نمکی که گاهی ارتفاع آنها تا چندین هزار متر میرسد، شرایط و مکانهای بسیار مناسبی برای انبارهای زیر زمینی عرضه میدارند. زیراً علاوه برآنکه غیر قابل نفوذ میباشند حفاری و ایجاد حفره‌های بزرگ درآنها آسان بوده و ارزان قیمت تمام میشود.

ابتدا چاهی در توده نمک حفرمیکنند، بعد از آنجا آب را بافشار زیاد تزریق می‌نمایند. آب نمک را در خود حل کرده بالا میآورد. بدین ترتیب عملاً بامصرف ۳. /٦ متر مکعب آب شیرین میتوان یک متر مکعب حفره ایجاد نمود.

در ناحیه آکیتین فرانسه شرکت ملی نفت آکیتین از سال ۱۹٦۱ در عمق ٤۰۰ متری دریک گنبد نمکی مخزنی بظرفیت ۷۰۰ مترمکعب گاز مایع پروپان ایجاد نموده است.

درتگزاس گنبد نمکی بزرگی در ٤ کیلومتری شرقی هوستن واقع شده است، تؤانسته‌اند دو مخزن

---

۱ - سری قرمز بالائی = (U. R. F.) Upper Red Formation

۲ - سری قم = (Q . F·) Qum Formation

در عمق ۱,۰۵۰ متری در آن ایجاد نمایند. در دو مخزن مزبور میتوان ۳۰,۰۰۰,۰۰۰ مترمکعب پروپان مایع ذخیره نمود. آب نمک حاصل از حفاری در حوضچه های وسیع طبیعی نگاهداری میشود، بتدریج که ازمخزن برداشت می‌نمایند بجای آن آب نمک قرار میدهند تا تعادل فشار ایجاد نمایند. در موقع تزریق بعکس آب نمک پمپ میشود. سادگی تهیه مخازن بزرگ درگنبدی نمکی سبب توسعه زیاد آن درممالک مختلف بخصوص آمریکا شده است.

طبق آمار سال ۱۹۶۳ درآمریکا مجموع مخازن زیر زمینی فقط برای گازهای مایع ۱۲,۱۵۵,۰۰۰ مترمکعب بوده که از آن مقدار ۱۰,۵۲۰,۰۰۰ درگنبدهای نمکی ومقدار ۱,۲۱۰,۰۰۰ درغارها و مقدار ۵۱۵,۰۰۰ در تاقدیس ها ذخیره شده است.