اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته
اسفند ۱۳۸۸
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد طبس

نقش بررسی‌های هیدروشیمیایی در ذخیره‌سازی زیرزمینی نفت خام در مغاهای سنگی (مطالعه موردی: بندر جاسک)

روح‌اله عزیزی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش اکتشاف
ruhollah.azizi@yahoo.com
غلامرضا کمالی، استادیار بخش مهندسی معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان
kamali@mail.uk.ac.ir

چکیده

امروزه، ذخیره‌سازی زیرزمینی هیدروکربن اهمیت زیادی پیدا کرده است. یکی از بررسی‌هایی که در ذخیره‌سازی نفت خام در مغارهای سنگی در زیر سطح آب زیرزمینی انجام می‌گیرد آنالیز کیفیت آب است. مهم‌ترین کاربرد این بررسی‌ها ارزیابی تأثیر مواد محلول در آب بر سیمان تزریقی، دستگاه‌ها و پوشش‌های فولادی مورد استفاده، و وقوع گرفتگی‌های بیولوژیکی و شیمیایی است. ترکیبات موجود در آب مخلوط با دوغاب و نیز آب‌های محیط اطراف تونل‌ها و مغار، می‌توانند روی خوردگی، زمان گیرش و مقاومت فشاری سیمان تماسی تأثیر نامطلوب داشته باشند. گرفتگی مجراهای جریان آب، در اثر رشد باکتری یا رسوب برخی ترکیبات رخ می‌دهد. در این مقاله آنالیز کیفیت آب در منطقه جاسک انجام گرفت که شامل آنالیز آب با دیاگرام Piper و نیز رسم نقشه تغییرات هیدروشیمیایی در دشت مورد نظر بود. طبق این آنالیزها، pH این منطقه در حد مطلوبی است؛ ولی برخی یون‌ها مقادیر بالایی دارند که در آینده ممکن است مشکلاتی را به وجود آورند.

کلمات کلیدی: هیدروژئولوژی، هیدروشیمی، ذخیره‌سازی هیدروکربن، مغارهای زیرزمینی، سیمان،گرفتگی.

Abstract

Today, underground storage of hydrocarbon is very important. One of the investigations that are performed for crude oil storage in rock caverns below groundwater level is analysis of water quality. The main application of these investigations is to evaluate effect of composition of water on grouted cement, steely covers of lined caverns, and on biological and chemical clogging. Constituents in waters mixing with cement and also in waters around tunnels and caverns can have undesirable effects on corrosion, sitting time and compressive strength of contact cement grout. The clogging of water conveying conduits is because of bacterial growth or precipitation of some compounds. In this paper, the analysis of water quality was performed in Jask region. These analysis comprised Piper diagram and hydrochemical variation map in Jask plain. According to these analyses, pH in this region was in desirable range; but some ions had high quantity and may bring about some problems in future.

۱- مقدمه

امروزه، ذخیره‌سازی هیدروکربن اهمیت زیادی پیدا کرده است. تقاضای نفت و گاز به طور هفتگی در طول سال تغییر می‌کند. بنابراین ذخیره کردن مقادیر بیش از ظرفیت و درنتیجه بهینه کردن عرضه و تقاضای بازار امری ضروری است. ذخیره‌سازی زیرزمینی نفت و گاز مزایای زیادی نسبت به ذخیره‌سازی در مخازن سطحی دارد [۱]. روش‌های مختلفی برای ذخیره‌سازی زیرزمینی نفت وجود دارد. یکی از این روش‌ها، ذخیره‌سازی در مغارهای سنگی در زیر سطح آب زیرزمینی است که به ۲ حالت مغارهای بدون پوشش و پوشش‌دار تقسیم می‌شوند. اصول

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

محدود کردن محصول در مغارهای بدون پوشش براساس شرایط نگهداری هیدرواستاتیکی است. به این صورت که فشار هیدرولیکی آب در شکستگی‌های توده‌سنگ اطراف مغار باید بزرگتر از فشار محصول ذخیره‌شده در مغار باشد که نشت محصول از مغار رخ ندهد [۲].

بررسی‌های هیدروژئولوژیکی در ساخت مغارهای سنگی ذخیره‌سازی نفت اهمیت زیادی دارند. یکی از پارامترهای هیدروژئولوژیکی مورد بررسی، هیدروشیمی است. بررسی‌های هیدروشیمیایی شامل مقدار اجزای محلول در آب، TDS، EC و ... است. [۳]. مهم‌ترین کاربرد این بررسی‌ها عبارتند از:

- ارزیابی تأثیر ترکیب آب بر سیمانی که به منظور مقاوم‌سازی و یا کاهش نفوذپذیری، به توده‌سنگ تزریق می‌شود.
- ارزیابی تأثیر ترکیب آب بر گرفتگی بیولوژیکی و شیمیایی مجراهای جریان آب (چاه‌ها و درزه‌های انتقال آب و ...).

سیمان مورد استفاده در بیشتر موارد، سیمان پرتلند است. در جدول ۱، انواع سیمان‌های پرتلند مورد استفاده، طبق استاندارد ASTM C150 آورده شده است. ناخالصی‌های بیش از اندازه در آب مخلوط نه تنها ممکن است زمان گیرش و مقاومت فشاری دوغاب تماسی و مواد پرکننده را تحت تأثیر قرار دهد، بلکه ممکن است باعث شوره‌زنی، زنگ زدن، خوردگی آرماتورها، ناپایداری توده و کاهش دوام شود. آلاینده‌های اصلی و تأثیرشان بر روی ترکیبات سیمان، همراه با حداکثر میزان مجاز آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. علاوه بر تأثیر آب استفاده‌شده در مخلوط دوغاب، ترکیبات محلول در آب‌های موجود در محیط اطراف تونل‌ها و مغار نیز در خوردگی و فرسایش سیمان و بتون نقش دارند. ترکیبات خورنده‌ای که باعث کاهش دوام سیمان می‌شوند عبارتند از:

- سولفات‌ها که می‌توانند به ترکیبات کلسیم سیمان حمله کرده و با ایجاد انبساط درونی غیر قابل مهار باعث نابودی آن شوند.
- دی اکسید کربن که آهک آزاد سیمان و کانی‌های کلسیت موجود در دانه‌های ماسه را حل می‌کند.
- حمله کلریدی باعث خوردگی دستگاه‌ها و صفحات فولادی مورد استفاده در پوشش مغار می‌گردد.
- اسیدهای آلی(هوموس).
- آب‌های خیلی سبک که نمک‌های کلسیت را حل می کنند [۴].

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

برای جلوگیری از خوردگی سیمان و افزایش دوام آن، اولین راه کاهش نسبت آب به سیمان مخلوط دوغاب یا بتن استفاده‌شده است. هنگامی که در تشکیلات مورد تزریق سطح بالایی از سولفات وجود داشته باشد، برای اطمینان یافتن از پایداری خوب کار باید از سیمان نوع V استفاده شود. اما اگر سولفات تنها در مقدار کم تا متوسط وجود داشته باشد سیمان نوع II کفایت می کند. همچنین می‌توان از افزاینده‌های خنثی‌ساز کلرید نیز در مخلوط استفاده کرد. این افزاینده‌ها یون‌های کلریدی را که تقویت‌کننده‌های موجود در دوغاب و بتن را تهدید می‌کنند، خنثی و حبس می‌کند و یا اینکه به عنوان آندهای قربانی فعالیت می‌کند[۴].

گرفتگی‌های مجراهای هیدرولیکی مثل درزه‌ها و شکستگی‌ها، باعث کاهش نفوذپذیری و افت هد اطراف مغار می‌گردد. در نتیجه این پدیده ممکن است شاهد وقوع برخی رویدادها مثل نشت از مغار بود [۵]. انواع گرفتگی‌های هیدرولیکی عبارتند از گرفتگی بیولوژیکی و شیمیایی. گرفتگی بیولوژیکی بدین صورت است که بعضی از باکتری‌ها در صورت وجود ماده مغذی (مواد آلی مثل هیدروکربن‌ها، مواد قندی و ...) و دهنده‌های الکترون مانند یون سولفات (SO_4^{2-})، شروع به رشد و تکثیر می‌کنند. رشد باکتری اگر در مجراهای هیدرولیکی مثل درزه‌ها و شکستگی‌ها باشد، باعث گرفتگی هیدرولیکی می‌گردد. این گرفتگی‌ها با اضافه کردن مواد گندزدا مثل هیپوکلرید سدیم یا اسید هیدروکلریک برطرف می‌شوند[۶ و ۷]. گرفتگی شیمیایی مجراهای هیدرولیکی نیز هنگامی رخ می‌دهد که برخی از ترکیبات و یون‌های محلول در آب هنگام جریان یافتن در مجراهای هیدرولیکی، ممکن است به علت مواجه شدن با برخی شرایط (اکسایشی-کاهشی یا اسیدی- قلیایی)، روی سطح این مجراها رسوب کنند و با کاهش نفوذپذیری باعث بسته شدن این مجاری شوند [۷].

در این مقاله به بررسی هیدروشیمیایی منطقه جاسک و تأثیر آن روی ذخیره‌سازی زیرزمینی نفت پرداخته می‌شود.

۲- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری

منطقه مورد مطالعه در استان هرمزگان و در ۲۱ کیلومتری شمال شرقی بندر جاسک قرار دارد. این منطقه از لحاظ تقسیمات زمین‌شناسی کشور، در زون مکران قرار دارد. موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری و محل مورد مطالعه برای ذخیره‌سازی زیرزمینی نفت در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. این چاه‌ها در دشت واقع در غرب محل مورد مطالعه قرار دارند. چاه‌های واقع در این دشت از لحاظ هیدرولیکی با محل ذخیره‌سازی نفت در ارتباط هستند و می‌توان گفت خصوصیات هیدروشیمیایی این چاه‌ها با محل مورد نظر مطابقت دارد. به علاوه، آب مورد نیاز برای استفاده در محل‌های مختلف ساخت مغار ازجمله سیمان تزریقی و نیز چاه‌ها و تونل‌های

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

پرده آب از منابع آب مختلف این منطقه از جمله آبخوان‌ها، رودخانه‌ها و دریا تأمین می‌شود. پس با بررسی این چاه‌ها می‌توان به ویژگی‌های هیدروشیمیایی محل مورد نظر دست یافت.

۳- آنالیزهای هیدروشیمیایی

در این مقاله، آنالیز شیمیایی آب در چاه‌های نمونه‌برداری به وسیله نرم‌افزار Rockworks (دیاگرام Piper) نشان داده شده است (شکل ۲). یکی از دو مثلث پایین مربوط به آنیون‌ها و دیگری مربوط به کاتیون‌ها است؛ به گونه‌ای که در یک مثلث مثلاً مقدار یک آنیون نسبت به مقدار تمام آنیون‌ها بر حسب درصد اکی‌والان وارد می‌شود. همچنین، دایره‌های اطراف هر نمونه در لوزی، نشان‌دهنده مقدار TDS مربوط به هر چاه است. در جدول ۳ نیز میانگین، بیشینه و کمینه پارامترهای مربوط به چاه‌های دشت مورد نظر محاسبه شده است. همچنین، تغییرات کانتوری برخی پارامترها، در چاه‌های نمونه‌برداری محدوده دشت به وسیله نرم‌افزار Surfer در شکل ۳ ترسیم شده است.

۴- نتایج و بحث

مقادیر pH در جدول ۳ نشان‌دهنده قلیایی بودن محیط است. با توجه به اینکه دوغاب سیمان قلیایی است و در محیط اسیدی واکنش داده و خورده می‌شود، این pH در کار تزریق سیمان به توده‌سنگ اطراف مغار یک مزیت محسوب می‌شود.

در قسمت آنیون‌ها همه نمونه‌ها حاوی درصد پایینی از یون کربنات و بی‌کربنات و درصد بالایی از یون کلرید و سولفات هستند (شکل ۲). در قسمت کاتیون‌ها نیز سدیم درصد بالایی را نشان می‌دهد. پس، وجود یون‌های کلرید و سولفات با توجه به ذکر تأثیرات نامطلوب این یون‌ها در بخش مقدمه، در آینده مشکلاتی را در کار به وجود خواهند آورد.

همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، تغییرات افقی مقادیر EC، TDS و Cl مشابهت زیادی با هم دارند. میزان این پارامترها اغلب در چاه‌های جنوبی (نزدیک دریا) مقادیری بیشینه دارند که می‌تواند ناشی از تأثیر آب دریا باشد. روند تغییرات مقدار یون SO_4 در منطقه تقریباً حالت عکس دارد؛ یعنی در چاه‌های جنوبی مقدار آن کمینه و در شمال بیشینه است.

در دیاگرام Piper شکل ۲، چاهی که با Jask5 نمایش داده شده است، مقادیر بسیار بالایی از TDS را نسبت به بقیه چاه‌ها نشان داده است. در جدول ۳ این مقدار mg/l ۹۵۰۲ است که با توجه به تقسیم بندی آب‌ها، در محدوده‌ای نزدیک به آب دریا قرار می‌گیرد [۳]. در نقشه‌های EC، TDS و Cl شکل ۳ نیز موقعیت مقدار بیشینه مربوط به همین چاه است. همچنین در این چاه، مقدار یون کلر بیش از ۹۰ درصد کل آنیون‌ها است. با این توضیحات می‌توان نتیجه گرفت

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

که آب دریا به این چاه نفوذ کرده است و باعث شورشدگی و افزایش مقادیر ترکیبات محلول شده است.

۵- نتیجه‌گیری

چاه‌های نمونه‌برداری واقع در دشت جاسک از لحاظ هیدرولیکی با محل ذخیره‌سازی نفت در ارتباط هستند؛ درنتیجه خصوصیات هیدروشیمیایی این چاه‌ها با محل مورد نظر مطابقت دارد. طبق آنالیزهای هیدروشیمیایی انجام‌گرفته، pH این منطقه در حد مطلوبی است و روی سیمان مورد استفاده در اطراف مغار اثر نامطلوبی ندارد. همچنین، در کار ذخیره‌سازی نفت باید تدابیر لازم در برطرف کردن مشکلات ناشی از ترکیبات محلول در آب اتخاذ گردد. مثلاً برای جلوگیری از خوردگی و از بین رفتن سیمان به وسیله سولفات، باید سیمان‌های مقاوم در برابر سولفات (سیمان پرتلند نوع II و V) به کار برد؛ و یا در بحث خوردگی دستگاه‌ها و صفحات فولادی و آهنی باید افزاینده‌های خنثی‌ساز کلرید استفاده گردد. همچنین، برای پیشگیری از وقوع گرفتگی‌های باکتریایی و شیمیایی و یا برای برطرف کردن آن می‌توان از مواد گندزدا و رسوب‌زدا مثل هیپوکلرید سدیم و اسید هیدروکلریک استفاده کرد.

۶- تقدیر و تشکر

این کار با حمایت شرکت پایانه‌های نفتی ایران انجام گرفته است. لذا بر خود لازم می‌دانم از همکاری و مساعدت مسئولین این شرکت کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم.

۷- فهرست منابع

[1] Bergman, S. M., M. ASCE, 1983; Underground Storage of Oil and Gas, Journal of Energy Engineering; Vol. 110, No 3.

[2] Eric, A., François, C., Anne, M.; Groundwater management during the construction of underground hydrocarbon storage in rock caverns; 9th international mine water congress.

[3] Hiscock, K.M., 2005; Hydrogeology: principles and practice, Chapter 3; Blackwell Publishing company, UK.

[۴] معصومی فشانی، ح.، ۱۳۸۸، طرح بهینه اختلاط دوغاب و تعیین فشار تزریق مناسب در تونل‌های حفر شده به وسیله TBM در محیط های خشک (مطالعه موردی: تونل‌های متروی شیراز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[5] Lee, J., Ko, K.S., Kim, J.M., and Chang, H.W., 2008; Multivariate statistical analysis of underground gas storage caverns on groundwater chemistry in Korea; Hydrological Processes; 22, 3410–3417.

[6] Van Beek, C.G.E.M. and Van der Kooij, D., 1982; Sulfate-Reducing Bacteria in Ground Water from Clogging and Nonclogging Shallow Wells in the Netherlands River Region; Ground Water, Vol. 20, No.3.

[7] Ott, N., 2000; Permeable Reactive Barriers for Inorganics; National Network for Environmental Management Studies, http://www.clu-in.org.

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

۸- ضمیمه: شکل‌ها و جداول

جدول ۱- مقادیر اجزای شیمیایی اصلی در ترکیب سیمان پرتلند

نوع سیمان	توصیف عمومی	دامنه اجزاء			
		C3S	C2S	C3A	C4AF
I	اهداف کلی	۴۵-۵۵	۲۰-۳۰	۸-۱۲	۶-۱۰
II	مقاومت سولفات متوسط	۴۰-۵۰	۲۵-۳۵	۵-۷	۶-۱۰
III	مقاومت اولیه بالا	۵۰-۶۵	۱۵-۲۵	۸-۱۰	۶-۱۰
V	مقاوم در برابر سولفات ها	۴۰-۵۰	۲۵-۳۵	۰-۴	۱۰-۲۰

جدول ۲- آلاینده های مجاز در آب مخلوط و تأثیرات آنها

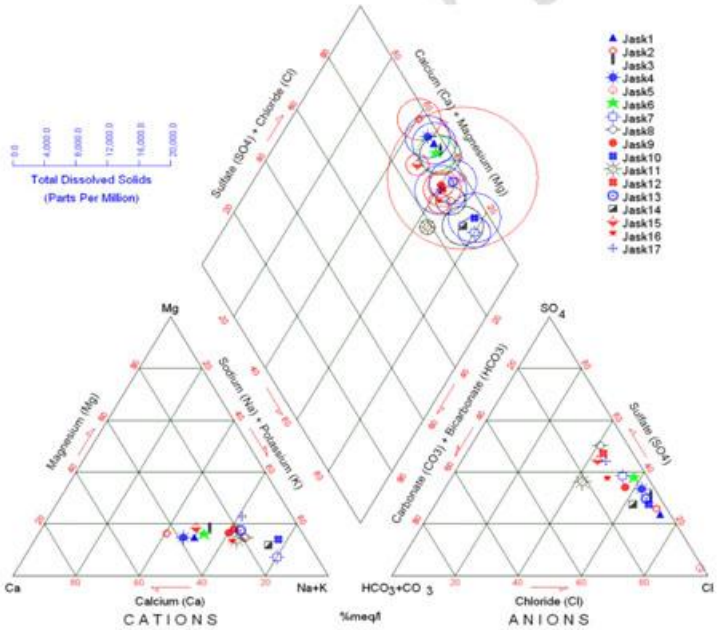
نوع آلاینده	حداکثر میزان مجاز(ppm)	تأثیر بر سیمان
سولفات‌ها	۱۰۰۰	واکنش انبساطی سیمان
کربنات‌ها و بی کربنات‌ها	۳۰۰۰	تسریع و یا کند کردن زمان گیرش، کاهش مقاومت
مواد آلی	۲۰	تسریع و یا کند کردن زمان گیرش، کاهش مقاومت
جامدات معلق کوچکتر از ۵ میکرون	۲۰۰۰	کاهش مقاومت
شکر	۵۰۰	تأخیر زیاد در زمان گیرش و افزایش مقاومت
کلریدها	۲۰۰۰۰	خوردگی فلزات آهنی روکش دار

جدول ۳- مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه یون‌های محلول در آب در محدوده جاسک (مقادیر برحسب mg/l)

ترکیب	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO^{3-}	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	TDS	EC	pH
میانگین	۶۳۵	۰	۲۱۱	۸۵	۱۰۶۷	۱۴۹	۴/۱	۵۹۵	۲۷۴۶	۴۵۰۰	۷/۹۳
بیشینه	۲۵۲۴	۰	۶۵۶	۲۹۷	۵۶۹۰	۳۱۹	۱۸	۱۰۹۷	۹۵۰۲	۱۶۷۰۹	۸/۱۹
کمینه	۲۰۹	۰	۶۲/۹	۲۳/۷	۲۱۷	۹۲	۰	۲۴۰	۹۴۱	۱۴۲۰	۷/۵۶

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

شکل ۱- موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری نسبت به محل مورد مطالعه در محدوده جاسک



شکل ۲- آنالیز کیفی آب با دیاگرام Piper در محدوده جاسک

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

شکل ۳- تغییرات مقادیر EC، TDS، SO_4 و Cl در چاه‌های نمونه‌برداری در محدوده جاسک (چاه‌های نمونه‌برداری با علامت * مشخص شده‌اند).

اولین همایش ملی معدن و علوم وابسته
دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس
1388
اسفند

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir