

## تجربیات پروژه توسعه مخزن مارون خامی

علی قاسمی\*

### چکیده

مخزن مارون خامی یکی از مخازن منحصر به فرد میعان گاز (Gas Condensate) در ایران و شاید جهان است. به خاطر فشار بالای مخزن، در حفاری و تکمیل چاه و احداث تأسیسات سرچاهی نیاز به کالاهایی بوده که در بعضی مواقع سازندگان خاصی داشته‌اند و حتی نحوه جوشکاری به کار رفته در تجهیزات سرچاهی در نوع خود کم‌سابقه می‌باشد. در این مقاله ضمن معرفی طرح توسعه مخزن مارون خامی به مشکلات، مسایل و راه‌حل‌های به کار گرفته شده برای آنها پرداخته شده است.

**واژه‌های کلیدی:** مخزن مارون خامی، بهره‌برداری، ترکیب سیال

### مقدمه

پس از تعمیق و تعمیر چاه ۲۲۲ مارون و آزمایش آن توسط مدیریت اکتشاف و کسب نتایج اولیه، توسعه مخزن مارون خامی مورد توجه شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب قرار گرفت. فشار مخزن حدود ۱۲۷۵۰ پام، سیال سنگین با نسبت مایع به گاز حدود ۲۰۰ بشکه بر میلیون فوت مکعب استاندارد، دمای مخزن حدود ۳۰۰ °F و حفاری عمیق و پر مخاطره از جمله ویژگی‌های این مخزن محسوب می‌شود. عدم انجام مطالعه مهندسی مقدماتی در ابتدا و تجربه کم شرکت ملی نفت در توسعه مخازن با این ویژگی‌ها، پروژه توسعه این مخزن را با دشواری‌ها و تطویل‌های مکرر همراه کرد. ولی تجربیات به دست آمده از اجرای این پروژه، پشتوانه علمی و تجربی بزرگی برای توسعه دیگر مخازن گازی خامی و بنگستانی خواهد بود. در این مقاله برخی تجربیات مربوط به توسعه مخزن که عموماً ماهیت فرآیندی دارند پرداخته می‌شود. موارد دیگر از جمله جوشکاری لوله‌های فشار بالا، مسائل و پیچیدگی‌های حفاری و تکمیل چاه‌ها باید در جای خود ارائه شود.

### ۱- انتخاب فرآیند توسعه مخزن مارون خامی

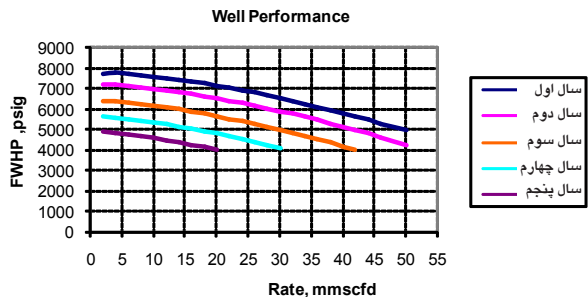
توسعه مخازن جدید عموماً با تولید آزمایشی و محدود شروع شده و با مشخص شدن توان تولید و حجم گاز قابل برداشت برنامه توسعه مخزن به اجراء در می‌آید. اختلاف نظر در مورد نقشه‌های زیرزمینی (UGC) منجر به دو برآورد کاملاً متفاوت از گاز در جا یکی بالغ بر ۷/۴ تریلیون فوت مکعب و دیگری ۱ تریلیون فوت

مکعب شده بود. به منظور رفع ابهامات، یک برنامه تولید آزمایشی، شامل بهره‌برداری از چاه ۲۲۲ مارون خامی و جداسازی میعانات گازی در یک تفکیک‌گر که قرار بود از منطقه تفکیک ورودی ۱۰۰۰-NGL به منطقه مارون منتقل شود، در نظر گرفته شد. هم‌چنین مقرر شد گاز سبک تفکیک شده به ورودی ایستگاه تزریق گاز مارون ارسال و فرآورش میعانات در یکی از ردیف‌های (Bank) موجود واحد بهره‌برداری مارون-۳ صورت گیرد.

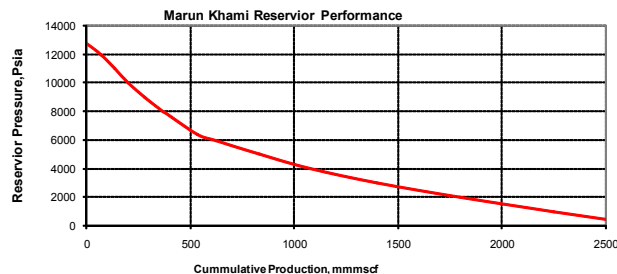
لازم به ذکر است مقدار گاز در جای مخزن هم‌اکنون با دقت قابل قبولی معادل ۲/۷ تریلیون فوت مکعب در شرایط استاندارد برآورد شده است. گفتنی است فاز تولید آزمایشی کاملاً اجرا نشده و در نهایت برنامه تولید ۲۰۰ م‌فم‌ر گاز با هدف تأمین بخشی از گاز مورد نیاز مخزن آسماری مارون و استحصال میعانات گازی آن در نظر گرفته شد. برای دستیابی به اهداف توسعه مخزن گزینه‌های فرآیندی زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

الف- تزریق مستقیم گاز سبک مارون خامی (بدون فشار افزایی) پس از جداسازی مایعات گازی آن در فشار تفکیک حدود ۴۰۰۰ پام  
ب- تزریق گاز سبک با فشار افزایی در تزریق گاز مارون پس از جداسازی مایعات گازی در فشار تفکیک حدود ۱۴۰۰ پام

گزینه الف به دو دلیل کنار گذاشته شد. اول آنکه براساس منحنی‌های فرضی عملکرد مخزن و چاه‌های تولیدی تزریق مستقیم عملاً پس حدود ۳ الی ۴ سال از آغاز بهره‌برداری از مخزن متوقف می‌شود. این موضوع در شکل‌های ۱ و ۲ به خوبی نشان داده شده است.



شکل-۲: منحنی عملکرد چاه



شکل-۱: منحنی عملکرد مخزن

سرتاسری فراهم نشد و به صورت ترکیبی  $1/2 \times 4/7$  تکمیل شد. لازم به ذکر است لوله‌های رشته تولیدی به خاطر کلاس فشاری سنگین بوده و رزوه‌ها که مسئولیت تحمل وزن لوله‌ها را به عهده دارند، در اعماق زیاد چاه تحمل وزن رشته تکمیلی را ندارند. چاه ۲۹۱ به خاطر مانده‌گذاری به ناچار در لایه داریان تکمیل شد. در این ناحیه از مخزن، سنگ مخزن به شدت متراکم بوده و افت فشار تحتانی بالایی دارد به همین خاطر تولید این چاه ناچیز است.

یکی دیگر از مشکلات که بر روی تولید اثر داشته است، نیاز به پمپ تراک برای باز کردن شیر ایمنی درون چاهی (3SV) در شرایط قطع برق و عدم بستن چاه توسط دکمه بستن نرمال چاه قبل از تخلیه شارژ باتری که حدود یک ساعت طول می‌کشد، می‌باشد. شیرهای 3SV چاه‌های مارون خامی دارای سیستم Equalizing نبوده و لازم است در حین بستن چاه، شیر 3SV با یک تأخیر زمانی پس از شیر ایمنی سطحی (2SV) بسته شود تا امکان فشار افزایشی سیال بین این دو شیر فراهم شود. برای افزایش این فاصله زمانی، تایمر با فاصله زمانی بیشتر در حد ۵ دقیقه و حتی ۱۰ دقیقه خریداری و نصب شد. علاوه بر آن، با توجه به آنکه تنها دو دستگاه پمپ تراک با فشار ۱۰۰۰۰ پام در کشور وجود داشته که در اختیار شرکت ملی حفاری می‌باشند، خرید یک دستگاه پمپ فشار قوی سیار برای چاه‌های مارون خامی در دست اقدام می‌باشد.

علی‌رغم همه مشکلات هم‌اکنون حدود ۱۰۴ میلیون فوت مکعب در روز از چهار حلقه چاه تولید می‌شود. شایان ذکر است که تولید میعانات همراه گاز هر یک از این چاه‌ها از اغلب چاه‌های نفتی آسماری مارون بیشتر است. حدود ۸۶ میلیون فوت مکعب در روز از گاز سبک تولیدی به ایستگاه تزریق گاز مارون ارسال می‌شود. حجم میعانات گازی که پس از تثبیت به عنوان نفت به نفت واحد بهره‌برداری شماره ۵ مارون اضافه می‌شود، حدود ۱۷۰۰۰ بشکه در روز می‌باشد. ضمناً برای دستیابی به برنامه تولید ۲۰۰ میلیون فوت مکعب در روز، حفاری سه حلقه چاه جدید پیش‌بینی شده است.

### ۳- استفاده از لوله‌های A106Gr-B به جای لوله‌های از جنس A333

با انتقال گودال‌های سوزا چاه‌های جدید مارون خامی به فاصله ۳۵۰ متری از محل چاه، که به دلیل مسائل ایمنی صورت گرفت، پروژه با

علاوه‌بر آن جداسازی میعانات گاز در فشار ۴۰۰۰ پام نیاز به دو عدد تفکیک‌گر با ضخامت جداره حدود ۱۵/۶ اینچ است. ساخت این تفکیک‌گر هزینه‌بر بوده و باعث تطویل پروژه می‌شد. ضخامت جداره این تفکیک‌گرها (t)، طبق استاندارد ASME Sec.VIII به کمک رابطه زیر:

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0.6P} \quad (1)$$

و با استفاده از پارامترهای مندرج در جدول شماره ۱-۱، ۶، ۱۵ اینچ محاسبه شد.

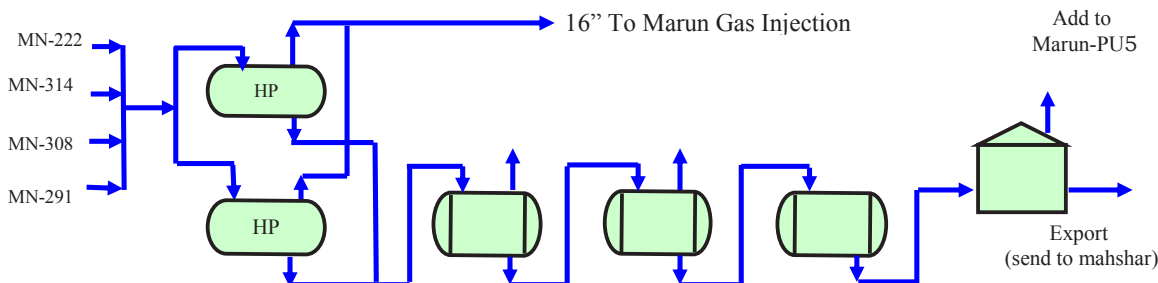
#### جدول ۱: مقادیر متغیرهای به کارفته در محاسبه ضخامت تفکیک‌گر

Design Pressure, P	4000 psi
Vessel Inside Radius, R	49.2"
Joint Efficiency, E	1
Max. Allowable Stress, S	15000 psi

در گزینه دوم سیال تولیدی چاه‌های مارون خامی وارد دو عدد تفکیک‌گر با فشار کاری ۱۴۰۰ پام شده و گاز خروجی آنها توسط یک خط لوله ۱۶" به لخته‌گیر (Slug Catcher) ورودی ایستگاه تزریق گاز مارون ارسال می‌شود. میعانات گازی نیز در یک ردیف فرآوری اختصاصی جدید شامل چهار مرحله تفکیک با فشارهای مشابه واحدهای بهره‌برداری مارون فرآوری می‌شود. برای مایعات تثبیت شده، دو مقصد یکی صدور میعانات گازی بعنوان نفتا از طریق بندر ماهشهر و تا آماده شدن مسیر صادرات و حل مسائل بازاریابی، اضافه نمودن این مایعات به نفت تولیدی مارون-۵ پیش‌بینی شده است.

### ۲- عملکرد چاه‌ها و تأسیسات مارون خامی

برای تولید ۲۰۰ میلیون فوت مکعب در روز از مخزن مارون خامی، حفاری سه حلقه چاه جدید علاوه‌بر چاه ۲۲۲ مارون پیش‌بینی شده بود. در نظر بود که دو حلقه چاه با رشته تولیدی ۷" تکمیل شوند. مشکلات حین حفاری باعث از دست رفتن یک سایز لوله جداره در یکی از چاه‌ها گردید و این موضوع باعث شد به ناچار لوله مغزی ۴۱/۲" در آن رانده شود. در چاه دیگر به خاطر محدودیت تحمل رزوه‌های لوله‌های مغزی، امکان راندن لوله مغزی ۷" به صورت



شکل-۳: شماتیک فرآیندی جداسازی و ارسال محصولات مخزن مارون خامی

جدول-۲: مقایسه روش‌های مختلف تعیین مشخصات ترکیبات مجازی

	مقدار تجربی	روش ۱		روش ۲		روش ۳		روش ۴	
		مقدار	درصد خطا	مقدار	درصد خطا	مقدار	درصد خطا	مقدار	درصد خطا
GLR, scf/bbl	۴۷۴۹,۴۶	۳۹۶۶	۱۶,۵	۴۲۰۶	۱۱,۴	۴۲۰۲,۴۵	۱۱,۵	۵۰۳۹,۱۵	۶,۱
API, Stock Tank	۴۱,۸۲	۴۹,۷۵	۱۹,۰	۴۱,۹۳	۰,۳	۴۲,۱	۰,۷	۴۰,۵۸	۳,۰
Mw, Stock Tank	۱۶۹,۷	۱۷۴,۹	۳,۱	۱۶۶,۳	۲,۰	۱۶۶,۷	۱,۸	۱۶۵	۲,۸

تجربی تعیین و اعلام شده بود. مشخصات سایر ترکیبات مجازی نامشخص بوده و باید تعیین می‌شد. برای این منظور چهار روش جهت تعیین مشخصات ۶C تا ۲۱C به کار گرفته شد و سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی با این چهار روش با نتایج تجربی موجود مقایسه گردید. این چهار روش عبارت بودند از:

۱- در این روش ترکیبات مجازی ۶C تا ۲۱C به صورت ترکیبات پیرافینی خطی فرض گردید.

۲- در این روش تمام ترکیبات مجازی به صورت یک سیال مجازی فرض گردید و جرم ملکولی آن از تفاضل جرم ملکولی کل و جرم ملکولی ترکیبات کتابخانه‌ای به دست آمد. و از رابطه زیر برای تعیین دانسیته ترکیب سیال مجازی استفاده گردید.

$$API = \frac{6084}{MW} + 5.5 \quad (۳)$$

۳- در روش سوم ترکیبات ۶C تا ۲۱C به عنوان یک ترکیب مجازی فرض گردید جرم ملکولی آن از کسر جرم ملکولی ترکیبات کتابخانه‌ای و ۲۲C از جرم مولکولی کل به دست آمد. ضمناً دانسیته ترکیب مجازی از رابطه ۲ محاسبه شد.

۴- در روش چهارم از مشخصات برش‌های عمومی (Generalized Cuts) برای تعیین مشخصات ترکیبات مجازی ۶C تا ۲۱C استفاده گردید.

برای شبیه‌سازی ترکیبات سیال از معادله Peng Robinson استفاده شد و نتایج شبیه‌سازی از نظر نسبت گاز به مایع (GLR)، جرم ملکولی (MW) و دانسیته مایع با مقادیر تجربی مشابه مورد مقایسه قرار گرفت، که نتایج در جدول ۲ آمده است. با توجه به نتایج این بررسی، روش ۴ که بیشترین دقت را دارد انتخاب گردید.

**نتیجه‌گیری:**

- ۱- به منظور تولید پایدار از مخزن مارون خامی، فشار تفکیک گر در ۱۴۰۰ پام در نظر گرفته شد. با تزریق گاز سبک حاصل به مخزن مارون آسماری استمرار تولید از میدان مارون نیز محقق می‌شود.
- ۲- به منظور کاهش هزینه خطوط لوله مورد نیاز گودال سوزا، طول بهینه خطوط در شرایط عملیاتی مجدداً محاسبه و نتایج به مرحله اجرا درآمد.
- ۳- در مقایسه نتایج تجربی با نتایج شبیه‌سازی آنالیز سیال، کمترین خطا با استفاده از مشخصات برش‌های عمومی موجود در ترکیب سیال به دست آمد.
- ۴- مستندسازی تجربیات به دست آمده از اجراء این پروژه، پشتوانه علمی و تجربی مناسبی برای توسعه دیگر مخازن خامی در مناطق نفت‌خیز خواهد بود.

**منابع:**

۱. استفاده از نرم‌افزارهای PIPESIM, HYSYS, OLGA
۲. گزارش‌های مهندسی بهره‌برداری چاه ۲۲۲ مارون خامی
۳. استاندارد ASME-Sec VIII

کامبود ۲۰۰ متر خط لوله A333 برای هر یک از چاه‌ها مواجه گردید. با توجه به آنکه پروژه در مرحله ساخت بوده و سفارش مجدد باعث تطویل مراحل اجرا می‌شد و علاوه بر آن لوله‌های از جنس A333 گران‌تر از A 106 می‌باشند، پیشنهاد استفاده از لوله A 106 به جای لوله‌های A333 مطرح و مورد بررسی قرار گرفت.

لوله‌های A333 برای سرویس‌های دما پایین (Low Temperature Service) به کار می‌روند در حالی که لوله‌های 106A تا دمای حداقل  $18^{\circ}\text{C}$  - را می‌توانند تحمل نمایند. در شرایط عملیاتی پایدار، درجه حرارت در خط لوله گودال سوزا بعد از چوک متغیر با توجه به درجه حرارت بالای سرچاهی در هر حال بالاتر از  $18^{\circ}\text{C}$  - خواهد بود. ولی در زمال راه‌اندازی چاه که سیال ساکن درون لوله سرچاهی و لوله مغزی در فصل زمستان تا دمای پیرامون خود سرد می‌شوند، امکان ایجاد دماهای پایین‌تر از  $18^{\circ}\text{C}$  - بعد از چوک وجود دارد.

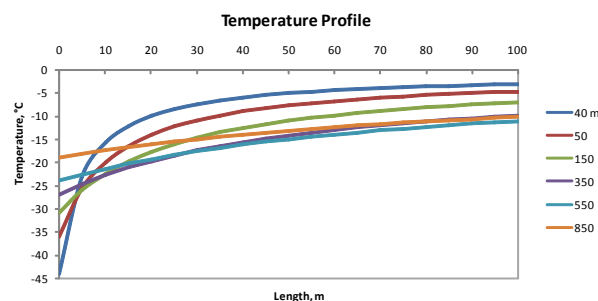
هدف از این بررسی، تعیین طولی از خط لوله گودال سوزا که در آن درجه حرارت‌های پایین‌تر از  $18^{\circ}\text{C}$  - در شرایط ناپایدار عملیاتی ممکن بوده- و لازم است از جنس A333 ساخته شود- می‌باشد. در ابتدا توزیع درجه حرارت در سیال ساکن براساس گرادیان دمای زمین و دمای محیط تعیین گردیده پس از آن درجه حرارت بعد از چوک در صورت تخلیه حجم‌های متفاوت از سیال ساکن محاسبه شد. سپس توزیع درجه حرارت در خط لوله گودال سوزا بر اساس رابطه زیر تعیین گردید.

$$mc_p (T_2 - T_1)_{fluid} = mc_p (T_2 - T_1)_{pipe} \quad (۲)$$

که m جرم سیال / لوله و cp ظرفیت حرارتی سیال / لوله در فشار ثابت می‌باشد. نتایج این بررسی در شکل ۴- آمده است. با توجه به این شکل ۳۰ متر از خط لوله گودال سوزا بعد از چوک ممکن است در معرض درجه حرارت‌های کمتر از  $18^{\circ}\text{C}$  - قرار گیرد و در نتیجه لازم است از جنس A333 ساخته شود.

در یک بررسی جداگانه که بعداً با استفاده از نرم‌افزار OLGA انجام شد در یک سناریو که تقریباً مشابه شرایط راه‌اندازی چاه و تخلیه سیال بود، عدد ۲۵ متر به دست آمد (لازم به ذکر است این نرم‌افزار به صورت موقت برای دو هفته جهت چند کاربر مورد استفاده قرار گرفت).

۴- تعیین مشخصات ترکیبات مجازی سیال مارون خامی آنالیز اولیه ترکیبات سیال مارون خامی حاوی ۱۷ ترکیب مجازی ۶C تا + ۲۲C است که فقط مشخصات + ۲۲C به صورت



شکل-۴: توزیع درجه حرارت در طول خط لوله گودال سوزا با در نظر گرفتن طول‌های مختلف قبل از چوک