جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد



# توسعه نرم افزار موازنه مواد در مخازن نفتی و گازی

**سید نادعلی قدمی[۱] ، منوچهر حقیقی*[۲] و علیرضا بهبهانی نیا[۳]**

[۱]دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی- پردیس دانشکده هاي فني - دانشگاه تهران
[۲]دانشیار دانشکده مهندسی شیمی - پردیس دانشکده هاي فني - دانشگاه تهران
[۳]کارشناس ارشد مهندسی شیمی شرکت خدمات مهندسی نفت کیش

(تاریخ دریافت ۸۴/۱۲/۳ ، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۶/۲/۱۰ ، تاریخ تصویب ۸۶/۲/۲۶)

## چکیده

تجزیه و تحلیل عملکرد مخزن با استفاده از معادلات موازنه مواد یکی از روشهای مرسوم جهت تعیین میزان هیدروکربور در جای اولیه مخازن می باشد. روشهای مختلف موازنه مواد در مخازن نفتی و گازی، مکانیزمهای تولید و مدلهای آبده شرح داده شده است. در این مطالعه یک نرم افزار توسعه داده شده که در آن برای محاسبه رانش آب بی بعد در مدل آبده ون اوردینگن و هرست به جای جستجوی جدولی از یک سری چندجمله ای استفاده شده است. در صورت وجود رفتار فشار غیر نرمال از روشهای مناسب استفاده شده است. به کمک رگرسیون غیر خطی و خطی میزان هیدروکربور اولیه و پارامترهای آبده محاسبه شده و مکانیزم های تولید مخزن نیز به کمک شاخص های رانش تعیین گردید. این محاسبات برای یک مخزن نفتی و یک مخزن گازی در ایران انجام شده است. نتایج بدست آمده دارای همخوانی قابل قبولی با نرم افزارهای تجاری موجود می باشد.

**واژه هاي کلیدی:** موازنه مواد - نرم افزار - آبده - مخازن نفتی و گازی - هیدروکربور درجا - رانش آب - مکانیزمهای تولید

## مقدمه

یکي از اصول اساسي به کار رفته در مهندسي، قانون پایستگي جرم است. کاربرد این اصل در مخازن هیدروکربني منجر به معادله موازنه مواد مي شود. روشهای موازنه مواد می توانند به عنوان ابزاری جهت تخمین هیدروکربن درجای مخزن، تعیین میزان مشارکت مکانیزمهای مختلف در تولید و همچنین تطبیق تاریخچه مخزن بکار گرفته شوند. روش موازنه مواد برای اولین بار در سال ۱۹۳۶ توسط شیلتوس [۱] مطرح شد. در آن زمان تنها حل معادلات موازنه مواد تک مجهولی ممکن بود. در سال ۱۹۴۰ روش p/Z برای مخازن گازی ابداع شد. از آن زمان به بعد علاقه به ایجاد روش خط راست برای تعیین ذخیره مخزن به وجود آمد تا اینکه در سال ۱۹۶۳، هاولنا و اوده [۳،۲] یک روش مقبول را برای مخازن نفتی معرفی کردند که به کمک آن مي توان مجهولات موجود در معادلات موازنه مواد را به طور همزمان محاسبه کرد. در سالهای اخیر، برخی اصلاحات در روش p/Z انجام شده که از آنها می توان برای مخازن با فشار غیر نرمال استفاده کرد.

وجود آبده و فشار غیر عادی می تواند تأثیر زیادی روی محاسبات موازنه مواد و عملکرد مخزن داشته باشند. از این رو در این مطالعه سعی بر آن شده که با استفاده از موازنه مواد بتوان به وجود یا عدم وجود این دو پی برد. برای انجام محاسبات از روش بهینه سازی نیوتن استفاده شده است. پس از انجام رگرسیون و بدست آوردن پارامترهای بهینه، مکانیزمهای تولید در طول تاریخچه مخزن تعیین گردیده اند. در این مقاله در ابتدا معادلات موازنه مواد در مخازن نفتی و گازی و شاخص های رانش که در نرم افزار مورد استفاده قرار گرفته، بررسی شده اند. سپس روش رگرسیون بکار رفته و تطبیق تاریخچه بیان شده است. در ادامه محاسبات موازنه مواد برای یک مخزن نفتی و یک مخزن گازی در ایران انجام شده و نتایج آن با نرم افزارهای تجاری مقایسه گردیده است.

## توسعه نرم افزار

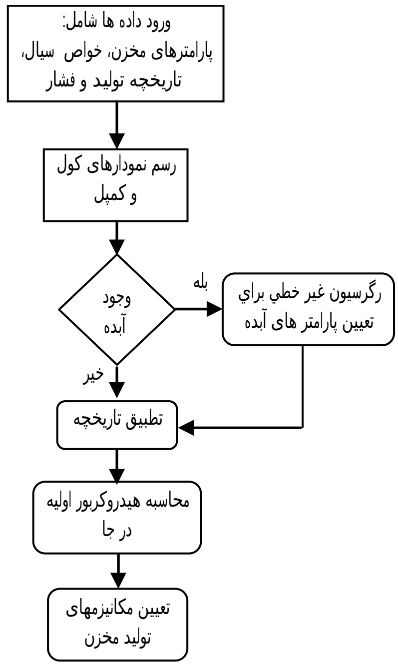
این نرم افزار به زبان Visual Basic 6.0 نوشته شده است که در محیط Windows با کاربری ساده اجرا می شود. در این نرم افزار، داده های ورودی شامل

* نویسنده مسئول : تلفن : ۶۱۱۱۲۹۳۱ – ۰۲۱ ، فاکس : ۶۶۹۵۷۷۸۴ – ۰۲۱ ، Email: haghigh@ut.ac.ir

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد



پارامترهای مخزن (فشار اولیه، دما، تخلخل و اشباع آب میانگین)، خواص سیال (به صورت جدول)، تاریخچه تولید و فشار و پارامترهای آبده (در صورت در نظر گرفتن آبده) می باشد. این نرم افزار قابلیت تعیین هیدروکربور اولیه درجا، پارامترهای آبده در صورت وجود رانش آب، انجام تطبیق تاریخچه و تعیین مکانیزمهای تولید را دارا می باشد. الگوریتم نرم افزار در شکل (۱) آمده است.




**شکل ۱ : الگوریتم انجام محاسبات.**

## مخازن نفتی

در حالت كلي براي يك مخزن نفتي داراي كلاهك گازي و آبده، استخراج سيالات مخزن باعث كاهش فشار آن مي‌شود و به طور طبيعي سيالات باقي مانده با انبساط خود سعي دراشغال فضاي خالي شده دارند. ارتباط با لايه‌هاي آبي نيز باعث مي‌شود كه مقداري از اثرات افت فشار با ورود آب به مخزن جبران شود. لذا جمع جبري تغييرات حجمي نفت، گاز آزاد و آب موجود در مخزن همواره مساوي صفر خواهد بود. شيلتوس با استفاده از اين مطلب و انجام يك موازنه حجمي براي مخزني با حجم اوليه ثابت محدود به مرزهاي مشخص، معادله عمومي موازنه مواد را به دست آورد. اين معادله به صورت كلي زير بيان مى شود.

$$N=\frac{N_p[B_t+(R_p-R_{si})B_g]-(W_e-W_pB_w)-G_{inj}B_{ginj}-W_{inj}B_w}{(B_t-B_{ti})+mB_{ti}\left[\frac{B_g}{B_{gi}}-1\right]+B_{ti}(1+m)\left[\frac{S_{wi}c_w+c_f}{1-S_{wi}}\right]\Delta p}$$

(۱)

كه در آن:

$N_p[B_t+(R_p-R_{si})B_g]$ : حجم نفت و گاز توليدي انباشتي در شرايط مخزن

$[W_e-W_pB_w]$ : رانش آب خالص

$[G_{inj}B_{ginj}+W_{inj}B_w]$ : عبارت حفظ فشار كه بيانگر سيال تزريقي انباشتي در شرايط مخزن است

$(B_t-B_{ti})$: نيروى حاصل از انبساط نفت

$[mB_{ti}(B_g/B_{gi}-1)]$ : انبساط خالص كلاهک گازي در اثر توليد $N_p$ بشكه نفت تانك ذخيره

$B_{ti}(1+m)\left[\frac{S_{wi}c_w+c_f}{1-S_{wi}}\right]\Delta p$: نيروى حاصل از تراكم پذيرى آب و سازند

به طور كلي در معادله (۱) سه مجهول وجود دارد؛ نفت اوليه در جا ($N$)، رانش آب تجمعي $W_e$، و نسبت اندازه اوليه كلاهک گازي به اندازه ناحيه نفتي ($m$).

هاولنا و اوده (۱۹۶۳) براي تعيين سه مجهول بالا، معادله (۱) را به صورت زير بيان كردند.

$$F=N[E_o+mE_g+E_{f,w}]+W_e$$

(۲)

به طوريكه:

$$F=N_p[B_t+(R_p-R_{si})B_g]+W_pB_w$$

$$E_o=B_t-B_{ti}$$

$$E_g=B_{ti}[B_g/B_{gi}-1]$$

$$E_{f,w}=(1+m)B_{ti}[\frac{c_wS_{wi}+c_f}{1-S_{wi}}]\Delta p$$

هاولنا و اوده حالات مختلفي را براي انواع مختلف مخازن مورد آزمايش قرار دادند و بيان كردند كه معادله (۲) مي تواند به صورت خط راست در آيد. روش خط راست نيازمند رسم يک گروه متغيرها بر حسب يک گروه ديگر است كه انتخاب گروه متغيرها بستگي به مكانيزم توليد مخزن دارد. مهمترين جنبه اين روش اين است كه يک مفهوم به دنباله و شكل نقاط رسم شده مي دهد.

نكته قابل توجه در روش خط راست اين است كه توالي نقاط رسم شده مهم است و اگر نقاط رسم شده از خط راست منحرف شوند، بايد دليلي براي آن يافته شود. اين

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد



مشاهده دقيق، به مهندس اطلاعات باارزش مي دهد كه مي تواند در تعيين مجهولات زير مفيد باشد.

- نفت اوليه در جا
- اندازه كلاهک گازي
- رانش انباشتی آب
- مكانيزم هاي رانش

در بين مدلهای آبده، مدل ون اوردينگن و هرست دارای دقت و کاربرد بيشتری است. اين مدل به صورت معادله زير بيان می شود[۴].

$$W_e = B\sum \Delta PW_{eD}$$

(۳)

استفاده از جداول موجود در مدل ون اوردينگن و هرست برای محاسبه رانش آب بی بعد و درون يابی در آنها کاری وقت گير و دارای خطا می باشد. در اين مقاله، به جای استفاده از جداول ارائه شده توسط ون اوردينگن و هرست، از يک سری چندجمله ای ارائه شده توسط کلينز[۵] استفاده شده است. جهت آزمودن اين چندجمله ای ها و مقايسه مقادير به دست آمده از آنها با مقادير موجود در جداول، از هر يک از اين جداول تعدادی عدد انتخاب و مقادير رانش آب بی بعد برای آنها محاسبه شده و درصد خطای نسبی بين آن دو محاسبه گرديد. نتايج محاسبات نشان می دهد که اختلاف اين دو با هم کمتر از ۰،۱ درصد بوده که در محاسبات مهندسی خطای خيلی ناچيزی می باشد.

## مخازن گازی

با استفاده از معادله حالت گاز و قانون پايستگی جرم، معادله موازنه مواد در مخازن گازی به صورت زير بيان می شود.

$$\frac{p_{sc}G_p}{RT_{sc}} = \frac{p_iV}{ZRT} - \frac{p[V-(W_e - B_wW_p)]}{ZRT}$$

(۴)

مخازن گازی می توانند به صورت حجمی يا با رانش آب باشند. براي يک مخزن حجمي و با فرض عدم توليد آب معادله (٤) به معادله (٥) خلاصه مي شود.

$$\frac{p}{Z} = \frac{p_i}{Z_i} - \left(\frac{p_{sc}T}{T_{sc}V}\right)G_p$$

(۵)

معادله (٥) بيان می کند هنگامي که $p/Z$ بر حسب توليد انباشتي گاز رسم شود، يک خط راست با شيب منفي $\left(\frac{p_{sc}T}{T_{sc}V}\right)$ حاصل می شود. اين خط راست يكي از پركاربردترين روابط در تعيين ذخيره گاز است. اگر رانش آب موجود باشد، نمودار $p/Z$ اغلب خطي به نظر مي رسد ولي برون يابي آن يک مقدار با خطاي بالا براي گاز اوليه در جا مي دهد. با استفاده از روش هاولنا و اوده معادله موازنه مواد در مخازن گازی به صورت زير بيان می شود.

$$F = G(E_G + E_{f,w}) + W_e$$

(۶)

كه در آن:

$$F = G_pB_g + W_pB_w$$

$$E_G = B_g - B_{gi}$$

$$E_{f,w} = B_{gi}\frac{(c_wS_{wi}+c_f)}{1-S_{wi}}\Delta p$$

معادله (٦) را می توان به شكل ساده تر زير بيان كرد.

$$F = GE_t + W_e$$

(۷)

بطوری كه:

$$E_t = E_G + E_{f,w}$$

(۸)

از نمودار كول[٦] براي اثبات وجود رانش آب در مخازن گازی استفاده شده است. در اين روش، $F/E_t$ بر حسب زمان يا توليد انباشتي گاز رسم می شود. در مخازني كه داراي آبده ضعيف و مقدار قابل توجه تراكم پذيری سازند هستند، اين نمودار شيب منفي نشان می دهد و در مخازني كه داراي تراكم پذيری سازند بالا ولي بدون آبده هستند يک خط افقي مي دهد. در مخازن با رانش آب قوی دارای شيب بالارونده خواهد بود.

در مخازن گازي با فشار غيرنرمال، نمودار $p/Z$ برحسب توليد گاز تجمعي داراي دو شيب مجزا خواهد بود. در اين مخازن بايد اثرات تراكم پذيری آب و سازند را نيز در نظر گرفت. بنابراين برای اين مخازن از روش ارائه شده توسط راماگوست و فرشاد [٧] استفاده شده است كه به صورت معادله زير بيان می شود.

$$\frac{p}{Z}\left[1 - \frac{\Delta p(c_wS_{wi}+c_f)}{1-S_{wi}}\right] = \frac{p_i}{Z_i}\left[1 - \frac{G_p}{G}\right]$$

(۹)

## شاخص های رانش

با مرتب کردن معادله (١) و صرفنظر کردن از عبارات تزریق سیال، معادله زیر حاصل می شود.

$$\frac{N(B_t - B_{ti})}{A} + \frac{NmB_{ti}(B_g - B_{g_i})/B_{gi}}{A} + \frac{W_e - W_p B_w}{A} + \frac{NB_{ti}(i+m)\left[\frac{c_w S_{wi} + c_f}{1 - S_{wi}}\right]\Delta p}{A} = 1 \quad (١٠)$$

که در آن پارامتر A به صورت معادله زیر تعریف می شود.

$$A = N_p[B_t + (R_p - R_{si})B_g]$$

معادله (١٠) می تواند به صورت زیر خلاصه و بیان شود.

$$DDI + SDI + WDI + CDI = 1.0 \quad (١١)$$

با کمک شاخص های رانش می توان بزرگی نیروهای های رانش و درصد مشارکت مکانیزم های مختلف تولید را تعیین کرد. از آنجا که جمع شاخص های رانش مساوی با یک است، پس اگر اندازه هر یک از شاخص ها کاهش یابد، اندازه شاخص های باقیمانده باید افزایش یابد. اگر شاخص های رانش برابر واحد نشوند نشان دهنده عدم به دست آمدن جواب صحیح موازنه مواد می باشد.

## رگرسیون غیرخطی

به کمک این روش می توان به طور همزمان میزان هیدروکربور اولیه و پارامترهای آبده را به کمک داده های تاریخچه عملکرد مخزن به دست آورد. برای انجام رگرسیون، از روش بهینه سازی نیوتن استفاده شده است. در این روش، میزان خروجی واقعی از زیر زمین (F) با مقدار محاسبه شده مقایسه شده و اختلاف این دو مقدار به عنوان تابع هدف برای انجام مینیمم سازی در نظر گرفته شده است. پس از انجام رگرسیون، میزان هیدروکربور اولیه در جا و پارامترهای آبده بدست می آید.

## تطبیق تاریخچه

در این روش بر مبنای داده های فشار و پارمترهای ورودی دیگر، میزان تولید حاصل از مدل محاسبه شده است. به منظور یکسان سازی فشارها، با کمک ترکیب روش حداقل مربعات و درون یابی، داده های خواص سیالات در فشارهای موجود در جدول تاریخچه تولید محاسبه گردیدند. برای مخازن نفتی، میزان تولید حاصل از مدل (تولید انباشتی نفت و گاز) محاسبه شده و با مقادیر تاریخچه تولید مقایسه می شود. برای مخازن گازی، تولید انباشتی گاز بدست آمده از مدل را با مقادیر ورودی مقایسه کرده تا میزان صحت مدل بدست آید.

## کاربرد موازنه مواد در مخازن ایران

برای بیان کاربرد موازنه مواد و اعمال روشهای فوق، یک مخزن نفتی و یک مخزن گازی از مخازن ایران در نظر گرفته شدند.

مخزن A یک مخزن نفتی زیر اشباع می باشد. پارامترهای مخزن در جدول (١) آورده شده است. با در نظر گرفتن اختلاف psi ١٠٣٣ بین فشار اولیه و فشار اشباع می توان دریافت که مخزن در ابتدا زیر اشباع می باشد.

این مخزن دارای تولید آب می باشد که می تواند دلیلی برای وجود آبده در این مخزن باشد. برای اثبات این ادعا از نمودار $F/E_t$ بر حسب $F$ می توان کمک گرفت. نمودار رسم شده همانطور که در شکل (٢) نشان داده شده نشان دهنده یک منحنی بالارونده است که بیانگر وجود آبده فعال می باشد. بنابراین باید یک مدل آبده برای مخزن تعریف شود. مدلهای مختلف آبده برای مخزن مورد آزمایش قرار گرفت و با کمک رگرسیون، پارامترهای بهینه برای هر کدام به دست آمد. در نهایت، مدل ون اوردینگن و هرست با توجه به مقدار انحراف معیار پایین تر نسبت به بقیه مدلها و اینکه معمولا برای آبده های خیلی فعال از این مدل استفاده می شود، انتخاب شد. سپس انطباق داده های تولید و فشار مخزن با مدل به دست آمده بررسی شد. پارامترهای بهینه آبده بدست آمده از رگرسیون در جدول (٣) آورده شده است. نمودار تطبیق تاریخچه تولید و فشار مخزن در شکل (٣) نشان داده شده است. این شکل انطباق خوبی بین میزان تولید حاصل از مدل با تولید مخزن نشان می دهد. خطی که با شیب تند پایین آمده ، بیانگر میزان تولید مدل بدون در نظر گرفتن آبده برای آن است. اختلاف بسیار زیاد این حالت با حالتی که آبده در نظر گرفته شده است، نشان دهنده تاثیر بسیار زیاد آبده در تولید این مخزن می باشد.

سپس به کمک روش رگرسیون خطی، نمودار $F/E_t$ بر حسب $W_e/E_t$ رسم گردید. این نمودار در شکل (۴) نشان داده شده است. به کمک این نمودار، میزان هیدروکربور اولیه درجا برابر با MMSTB ٢٩٢٠٠ بدست آمد.

**جدول ۱ : پارامترهای مخزن A.**

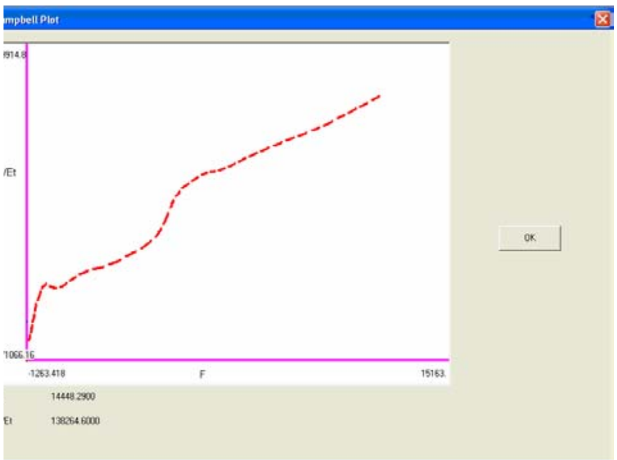
| | |
|---|---|
| فشار اولیه (psia) | ۴۴۷۳ |
| فشار اشباع (psia) | ۳٤٤۰ |
| عمق مبنا (ft) | ۸۸۱۰ |
| اشباع اولیه آب | ۰٫۲۰ |
| تخلخل میانگین | ۰٫۲۱ |
| دما در عمق مبنا (F) | ۱۹۰ |

**جدول ۲ : پارامترهای مخزن B.**

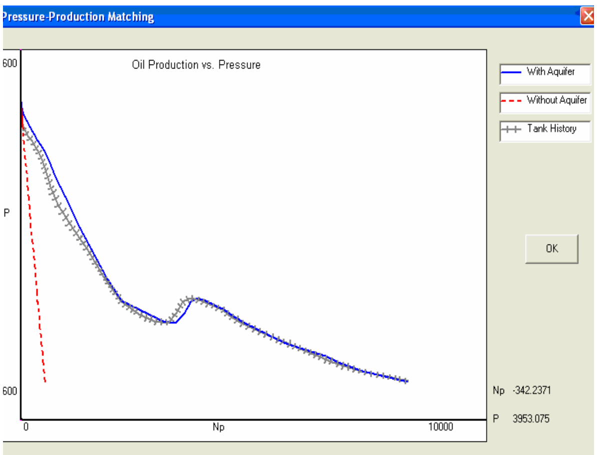
| | |
|---|---|
| فشار اولیه (psia) | ۶۳۵۵ |
| عمق مبنا (ft) | ۷۲۵۰ |
| اشباع اولیه آب | ۰٫۱۵ |
| تخلخل میانگین | ۰٫۰۵ |
| دما در عمق مبنا (F) | ۲۱۰ |
| تراکم پذیری سازند | $۱۹\times۱۰^{-۶}$ |

**جدول ۳ : پارامترهای آبده بعد از انجام رگرسیون.**

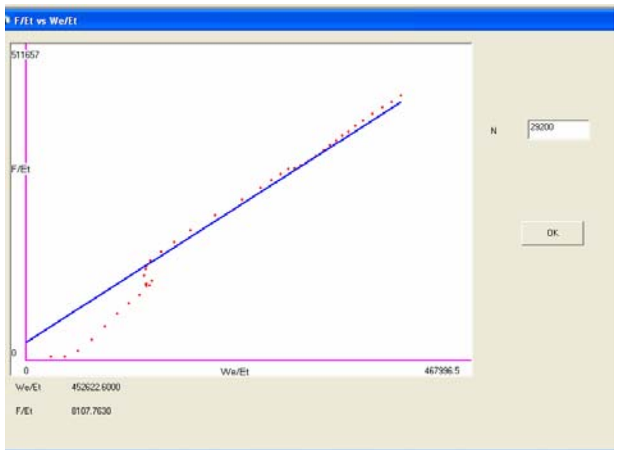
| پارامتر | مخزن A | مخزن B |
|---|---|---|
| ضخامت مخزن (ft) | ۱٤٥۰ | ۳۰۰ |
| شعاع مخزن (ft) | ٦۰٥۰۰ | ٤۰۸۰۰ |
| نسبت شعاع خارجی به داخلی | ۱۷ | ۲٫٥ |
| زاویه هجوم | ۳٤۰ | - |
| تراوایی آبده (md) | ۸۰ | ۱ |



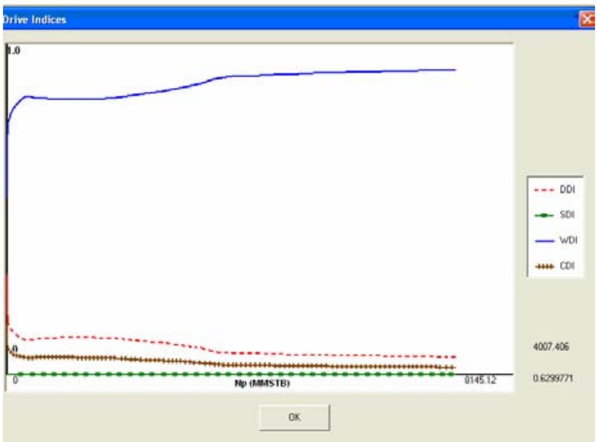

**شکل ۲ : نمودار** $F/E_t$ **بر حسب** $F$ **برای مخزن A.**



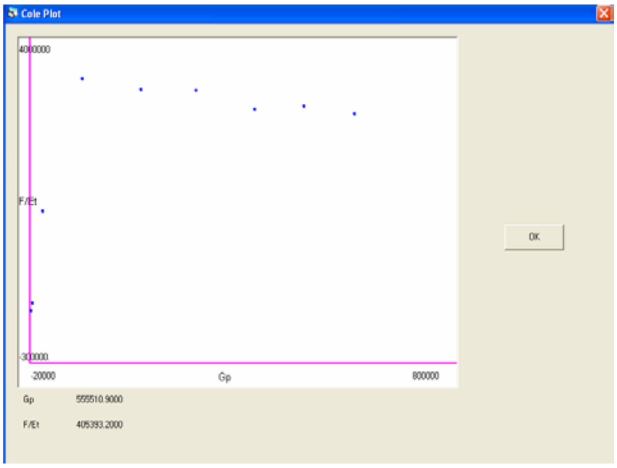

**شکل ۳ : تطبیق تاریخچه تولید و فشار-مخزن A.**



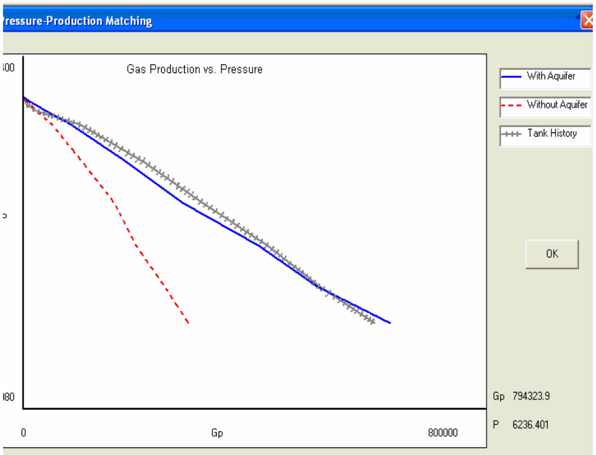

**شکل٤ : نمودار** $F/E_t$ **بر حسب** $W_e/E_t$ **-مخزن A.**



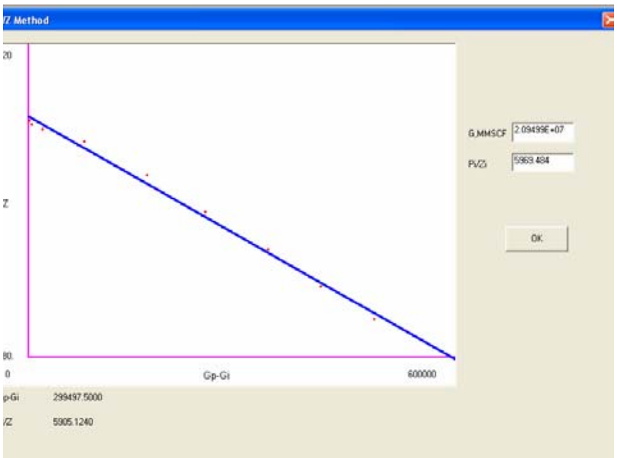

**شکل ٥ : شاخص های رانش برای مخزن A.**



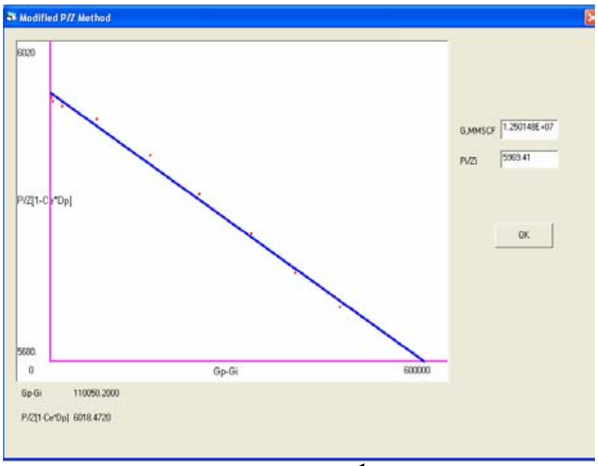

شکل ٦ : نمودار کول برای مخزن B.



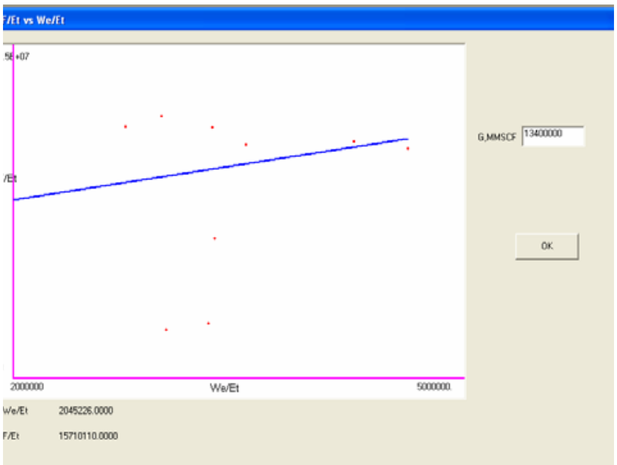

شکل ۷ : تطبیق تاریخچه تولید و فشار- مخزن B.



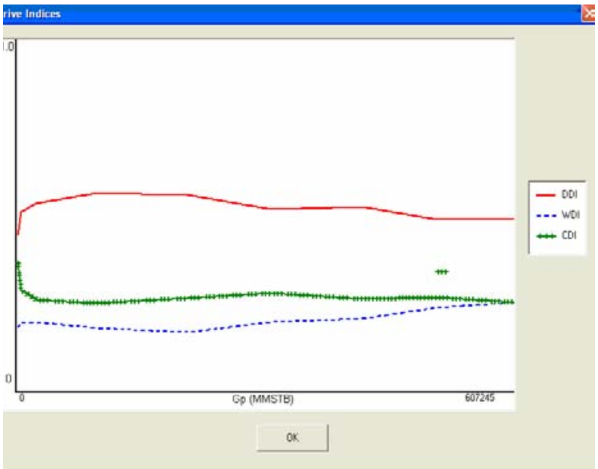

شکل ۸ : نمودار p/Z برای مخزن B.




شکل ۹: روش راماگوست و فرشاد برای مخزن B.




شکل ۱۰ : نمودار $F/E_t$ بر حسب $W_e/E_t$ - مخزن B .




شکل ۱۱: شاخص های رانش برای مخزن B.

جهت مقایسه و بررسی صحت کارهای انجام شده، از نرم افزار Mbal[۸] استفاده شد که میزان هیدروکربور اولیه مخزن با استفاده از آن برابر ۲۹۲۵۰ MMSTB به دست آمد که نشان دهنده خطای کمتر از ۰،۲ درصد با مقدار بدست آمده در این مقاله می باشد.

پس از تعیین میزان هیدروکربور اولیه مخزن، شاخص های رانش در طول تاریخچه محاسبه شدند که در شکل (۵) نشان داده شده است. به کمک این شاخص ها می توان درصد مشارکت مکانیزم های مختلف تولید را در طول تاریخچه تعیین کرد. همان گونه که در این شکل پیداست،

رانش آب، مکانیزم اصلی تولید در این مخزن می باشد و پس از تولید حدود MMSTB ۴۰۰۰ از این مخزن، از میزان رانش تخلیه کاسته شده و به رانش آب افزوده شده است که دلالت بر فعال تر شدن آبده می باشد. با توجه به اینکه مخزن در حالت اولیه زیر اشباع می باشد و فاقد کلاهک گازي می باشد، شاخص تفکیک ثقلی در این مخزن برابر صفر می باشد، زیرا که این شاخص نشان دهنده رفتار کلاهک گازی می باشد.

مخزن B یک مخزن گازی است که پارامترهای کلی مخزن در جدول (۲) آورده شده است. عمده تولید این مخزن از طریق ترکها می باشد. در مخازن گازی عادی، انرژی لازم جهت تولید از مخزن عمدتا از طریق انبساط گاز فراهم می شود در حالی که در مخازن گازی غیرنرمال، علاوه بر عوامل فوق، انبساط سنگ و آب همزاد نیز نقش مهمی در تولید ایفا می کند. برای اثبات وجود آبده و رفتار فشاری غیر عادی از نمودار کول استفاده شد. نمودار کول برای مخزن گازی حجمی یک خط راست افقی و برای مخازن با رانش آب قوی یک خط راست بالارونده نشان می دهد. نمودار حاصل که در شکل (۶) نشان داده شده است، یک شیب منفی را نشان می دهد که بیانگر وجود آبده ضعیف و احتمال رفتار فشار غیر عادی را نشان می دهد. مقادیر بالای تراکم پذیری سازند و فشار و تاریخچه عملکرد مخزن این احتمال را تقویت می کنند.. پس از آزمودن مدلهای مختلف آبده و با توجه به عدم وجود شواهد کافی برای حضور آبده فعال در نهایت از مدل کارتر و تریسی[۹] استفاده شد. در ادامه، تاریخچه تولید و فشار مخزن با مدل در نظر گرفته شده انطباق داده شد که در شکل (۷) آورده شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، تولید حاصل از مدل با تولید مخزن دارای تطابق قابل قبولی می باشد. در مخازن گازی میزان گاز اولیه در جا را می توان از روشهای p/Z و هاولنا-اوده استفاده کرد. از آنجا که به کمک نمودار کول وجود تراکم پذیری بالا در سازند (که منجر به فشار غیر عادی در مخزن می شود) نشان داده شده است، بنابراین میزان گاز اولیه درجا از روش p/Z دارای خطای زیاد خواهد بود. بنابراین باید از یک روش جایگزین برای محاسبه میزان گاز اولیه درجا استفاده کرد. چون که مخزن دارای رانش آب می باشد، روش روخ[۱۰] دارای خطای زیاد خواهد بود. بنابراین از روش راماگوست و فرشاد که در واقع تصحیح شده روش p/Z می باشد استفاده شد. میزان گاز اولیه در جا از روشهای p/Z و راماگوست و فرشاد به ترتیب برابر TCF ۲۰,۹۵ و TCF۱۲,۵۰ بدست آمد که در شکلهای (۸) و (۹) نشان داده شده است. کاربرد دیگر روش p/Z تعیین فشار اولیه مخزن می باشد. مقدار $p_i/Z_i$ بدست آمده از هر دو روش فوق برابر psi ۵۹۶۹ بدست آمد. جهت مقایسه و بررسی میزان گاز اولیه بدست آمده از روشهای p/Z ، از روش هاولنا و اوده استفاده می شود. برای بکارگیری این روش نمودار $F/E_t$ بر حسب $W_e/E_t$ رسم گردید (شکل (۱۰)) که میزان گاز در جای اولیه برابر TCF ۱۳,۴۰ بدست آمد. همانند مخزن A برای مقایسه و بررسی کارهای انجام شده از نرم افزار Mbal استفاده شد. مقادیر گاز اولیه در جا از نرم افزار Mbal با روشهای p/Z ، راماگوست-فرشاد و هاولنا-اوده به ترتیب TCF ۲۱,۱۵ ، TCF ۱۲,۸۰ و TCF ۱۳,۲۰ محاسبه شد که دارای اختلاف ناچیزی با مقادیر بدست آمده می باشد. پس از تعیین میزان گاز در جای اولیه، به کمک شاخص های رانش درصد مشارکت مکانیزمهای مختلف در تولید مخزن تعیین شد. این شاخص ها در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همان طور که انتظار می رود و در این شکل پیداست، تراکم پذیری آب و سازند دارای نقش مهمی در تولید از این مخزن می باشد.

## نتیجه گیری

- یک نرم افزار با روش موازنه مواد برای مخازن نفتی و گازی توسعه داده شده به نحوی که توانایی استفاده در مخازن با فشار غیر نرمال را داشته و در آن مدلهای مختلف آبده به کار رفته است.
- با استفاده از نرم افزار توسعه داده شده، مکانیزمهای مختلف تولید تعیین می گردد.
- در نرم افزار تهیه شده، روش چندجمله ای برای تعیین رانش آب بی بعد به جای استفاده از جستجوی جدولی که یک کار وقت گیر می باشد به کار رفته است، زیرا که خطای ناشی از این چندجمله ای ها در مقایسه با مقادیر جدولی خیلی ناچیز می باشد.
- روش بهینه سازی نیوتن یک روش موثر در محاسبه هیدروکربور اولیه در جا و پارامترهای آبده می باشد.

- روش $p/Z$ در مخازن با فشار غیر عادی دارای خطای بالا می باشد. این امر به دلیل در نظر نگرفتن اثرات تراکم پذیری سازند می باشد که عامل بروز رفتار غیرعادی در این مخازن می باشد. در این مخازن استفاده از روش های راماگوست-فرشاد یا روخ توصیه می شود.
- روش کول در مخازن گازی و نمودار $F/E_t$ بر حسب $F$ در مخازن نفتی یک ابزار مناسب برای تشخیص وجود آبده در مخازن هستند. بنابراین توصیه می شود که ابتدا به کمک این روشها وجود یا عدم وجود آبده در مخزن اثبات شود و سپس محاسبات موازنه مواد انجام شود.

## فهرست علائم

$B$ : ثابت آبده، $bbl/psi/day$

$B_g$ : ضریب حجمي گاز در فشار $p$ ، bbl/scf

$B_{gi}$ : ضریب حجمي گاز در فشار $p_i$ ، bbl/scf

$B_{ginj}$ : ضریب حجمي گاز تزریقي، $bbl/scf$

$B_t$ : ضریب حجمي نفت در فشار $p$ ، bbl/STB

$B_{ti}$ : ضریب حجمي نفت در فشار اولیه $p_i$ ، bbl/STB

$B_w$ : ضریب حجمي آب سازند، bbl/STB

$c_f$ : تراکم پذیری سازند، $psi^{-1}$

$c_w$ : تراکم پذیری آب، $psi^{-1}$

$CDI$ : شاخص رانش تراکم (سنگ و سیال)

$DDI$ : شاخص رانش تخلیه

$E_{f,w}$ : انبساط آب و کاهش حجم حفره ها، bbl/STB

$E_G$ : انبساط گاز، ft$^3$/ scf

$E_g$ : انبساط کلاهک گازي، bbl/ scf

$E_g$ : انبساط نفت، bbl/STB

$E_t$ :انبساط کل، bbl/STB

$F$ : کل خروجی از زیر زمین، bbl

$F(i)_C$ : خروجی محاسبه شده از مخزن، bbl

$F(i)$ : خروجی اندازه گیری شده از مخزن، bbl

$G$ : گاز اولیه در جا، scf

$G_{inj}$ : گاز تزریقي انباشتي، $scf$

$G_p$ : گاز اولیه در جا، scf

$J_0$ : تابع بسل نوع اول از مرتبه صفر

$J_1$ : تابع بسل نوع اول از مرتبه یک

$m$ : نسبت حجم کلاهک گازي به مقدار نفت

$N$ : حجم نفت اولیه درجا، STB

$N_p$ : نفت تولیدي انباشتي، STB

$p_D$ : فشار بی بعد

$p_i$ : فشار اولیه، psi

$p_{sc}$ : فشار در شرایط استاندارد، psi

$q_D$ : فشار بی بعد

$R$ : ثابت گاز در معادله حالت

$R_p$ : نسبت گاز به نفت تولیدي انباشتي، scf/STB

$R_{si}$ : نسبت گاز به نفت محلول در فشار $p_i$ ، scf/STB

$r_D$ : شعاع بی بعد

$SDI$ : شاخص رانش تفکیک (کلاهک گازی)

$S_{wi}$ : اشباع آب همزاد

$T$ : دما، °R

$T_{sc}$ : دما در شرایط استاندارد، °R

$t_D$ : زمان بی بعد

$V$ : حجم مخزن، ft$^3$

$WDI$ : شاخص رانش آب

$W_e$ : رانش آب انباشتي ، bbl

$W_{eD}$ : رانش آب بی بعد

$W_{inj}$ : آب تزریقي انباشتي، STB

$W_p$ : آب تولیدي انباشتي ، STB

$Y_0$ : تابع بسل نوع دوم از مرتبه صفر

$Y_1$ : تابع بسل نوع دوم از مرتبه یک

$Z$ : ضریب انحراف گاز در فشار $p$

$Z_i$ : ضریب انحراف گاز در فشار $p_i$

$\alpha_n$ : ریشه های معادله بسل

$\beta_n$ : ریشه های معادله بسل

$\Delta p$ : افت فشار مخزن، $p_i - p$

## مراجع

1 - Schilthuis, R. (1936). "Active oil and reservoir energy." *Trans. AIME,* Vol. 118, PP. 37.

2 - Havlena, D. and Odeh, A. S. (1963). "The Material Balance as an Equation of a Straight Line: Part 1." *Trans. AIME,* Vpl. 228, PP. I-896.

3 - Havlena, D. and Odeh, A. S. (1964). "The material balance as an equation of a straight line: Part 2." *Trans. AIME*, Vol. 231, PP. I-815.

4 - Van Everdingen, A. F. and Hurst, W. (1949). "The application of the Laplace transformation to flow problems in reservoirs." *Trans. AIME,* Vol. 186, PP. 305–324.

5 - Klins, M. A. and Bouchard A. J. (1988). "A polynomial approach to the van Everdingen-Hurst dimensionless variables for water encroachment." *SPE 15433*, Pennsylvania State U.

6 - Cole, F. (1969). *Reservoir Engineering Manual*, Gulf Publishing Co., Houston, TX.

7 – Ramagost, B. P. and Farshad, F. F. (1981). *P/Z Abnormally Pressured Gas Reservoirs*, SPE 10125, Arnerada Hess Corp. and University of Southwestern Louisiana.

8 - Mbal User Guide (2002). *Petroleum Experts*, Edinburgh, Scotland.

9 - Carter, R. and Tracy, G. (1960). "An improved method for calculations of water influx." *Trans. AIME,* Vol. 152.

10 - Roach, R. H. (1981). *Analyzing Geopressured Reservoirs – A Material Balance Technique*, SPE 9968, Society of Petroleum Engineers of AIME, Dallas,TX