

روش جدید حل معادله موازنه مواد با استفاده از الگوریتم ژنتیکی جهت تعیین حجم هیدروکربن اولیه و عملکرد مخازن

علی نوذری

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی شیمی (مخازن هیدروکربوری) - دانشکده فنی - دانشگاه تهران
nozari@excite.com

فرهنگ جلالی فراهانی

دانشیار گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۳/۱/۲۹، تاریخ تصویب ۸۴/۲/۲۴)

چکیده

این مقاله روش جدیدی را برای حل معادله موازنه مواد با استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیکی معرفی می کند. این الگوریتم با قابلیت‌هایی که داراست توانایی این را دارد که معادله موازنه مواد را به تنهایی حل کرده و بدون فرض مدل آبد مستقیماً مقدار هیدروکربن درجا و شار آب ورودی به مخزن را مشخص نماید. در روش های مرسوم حل معادله موازنه مواد از معادلات مدلهای آبد به عنوان یک معادله کمکی استفاده می شود و برای حل مدل آبد نیاز به استفاده از خواص آبد است. این خواص اغلب دارای عدم قطعیت هستند زیرا به دلیل هزینه های بالای حفاری، برای پارامترهای آبد، به اطلاعات تخمینی اکتفا می شود. این مطالعه به شرح این تکنیک جدید و بررسی چند مثال عملی می پردازد تا توانایی های غیر قابل انکار آن را در پرهیز از محاسبات زاید ریاضی و حذف مرحله حدس و خطا نشان دهد. یکی از موارد بررسی شده، میدان نفتی کربناته واقع در جنوب غرب ایران می باشد.

واژه های کلیدی: موازنه مواد^۱، نفت درجا^۲، الگوریتم ژنتیک^۳

مقدمه

معادله عمومی موازنه مواد اولین بار در سال ۱۹۳۶ توسط Schilthuis ([۱]) پیشنهاد گردید. در حالت کلی برای یک مخزن نفتی دارای کلاک گازی و آبد، استخراج سیالات مخزن باعث کاهش فشار آن می شود و به طور طبیعی سیالات باقی مانده، با انبساط خود، سعی در اشغال فضای خالی شده دارند. ارتباط با لایه های آبی نیز باعث می شود که مقداری از اثرات افت فشار با ورود آب به مخزن جبران شود. لذا جمع جبری تغییرات حجمی نفت، گاز آزاد و آب موجود در مخزن همواره مساوی صفر خواهد بود.

Havlena و Odeh ([۲] و [۳]) یکی از شاخص ترین کارها را در زمینه موازنه مواد انجام داده اند. این دو در مقالاتشان، معادله موازنه مواد را به شکل معادله یک خط راست بیان کردند. از دو مقاله آنها، اولی اختصاص به تکنیک حل مساله داشت و دومی مثالهای عملی حل شده با این روش را بیان می کرد.

شرح الگوریتم ساده

مراحل الگوریتم ژنتیک برای یک مساله بهینه سازی به ترتیب زیر است:

- ۱- تعیین متغیرهای مستقل مساله و دامنه تغییرات آنها
 - ۲- تعریف تابع هدف
 - ۳- انتخاب شاخص برای تعیین لیاقت اعضا: این مرحله در حقیقت تعیین شرط بهینه بودن است. یعنی اینکه تابع هدف برای بهینه شدن باید ماکزیمم یا مینیمم باشد یا این که لزوماً باید به مقدار خاصی برسد.
 - ۴- ایجاد نسل اولیه به صورت تصادفی: این جمعیت متشکل از تعدادی کروموزوم خواهد بود که آنها نیز به نوبه خود هر کدام از مجموعه ای از ژنها تشکیل شده اند. ژنها در حقیقت همان متغیرهای مستقل تابع هدف هستند که اعضا جمعیت محسوب می گردند.
- به تعداد هر نسل اندازه جمعیت گفته می شود. Goldberg ([۴]) رابطه زیر را برای اندازه جمعیت پیشنهاد می کند.

که p_m احتمال انجام جهش محسوب می‌گردد. لقاح هم در این سیستم به صورت ساده از برش دو کروموزوم و اتصال قطعات ایجاد شده به هم حاصل می‌گردد.

در سیستم اعداد حقیقی اما، روشهای متفاوتی برای لقاح و جهش وجود دارد. مانند جهش همسان، جهش ناهمسان، جهش مرزی، جهش ناهمسان چندگانه، لقاح ساده، لقاح حسابی و لقاح اکتشافی. چنانچه a_i و b_i حدود بالایی و پایینی برای ژن i باشند، این عملگرها به شکل زیر تعریف می‌گردند.

جهش همسان: این عملگر به شکل تصادفی متغیر z را انتخاب می‌کند و آن را برابر عددی تصادفی قرار می‌دهد.

$$x'_i = \begin{cases} \text{Ran}(a_i, b_i) & \text{if } \text{Ran}(0,1) < p_m \\ x_i & \text{otherwise} \end{cases}$$

جهش مرزی: این عملگر به شکل تصادفی متغیر z را انتخاب می‌کند و آن را برابر حد بالایی یا پایینی اش قرار می‌دهد،

$$x'_i = \begin{cases} a_i, & \text{if } i = z, \text{Ran}(0,1) < 0.5 \\ b_i, & \text{if } i = z, \text{Ran}(0,1) \geq 0.5 \\ x_i, & \text{otherwise} \end{cases}$$

لقاح ساده در سیستم اعداد حقیقی مشابه آن چیزی است که برای سیستم دودویی توضیح داده شد. لقاح حسابی: چنانچه دو کروموزوم \bar{X} و \bar{Y} به عنوان والدین انتخاب شده باشند، \bar{X}' و \bar{Y}' به عنوان فرزندان به شکل زیر تولید می‌شوند.

$$\bar{X}' = r\bar{X} + (1-r)\bar{Y}, \quad r = \text{Ran}(0,1)$$

$$\bar{Y}' = (1-r)\bar{X} + r\bar{Y}$$

مشاهده می‌شود که در این روش فرزندان ترکیبی خطی از والدین خود محسوب می‌گردند.

لقاح اکتشافی: در این روش بین دو کروموزوم برون یابی خطی انجام می‌شود و تنها روشی است که لیاقت کروموزوم‌ها هم در نظر گرفته می‌شود. چنانچه \bar{X} لایق تر از \bar{Y} باشد،

$$\bar{X}' = \bar{X} + r(\bar{X} - \bar{Y})$$

$$\bar{Y}' = \bar{X}$$

اگر امکان (feasibility) وجود \bar{X}' صفر باشد، عدد r

$$N_{pop} = 1.65 \times 2^{0.21L_{chrom}} \quad L_{chrom} < 50$$

این مقدار برای بسیاری از مسائل عدد بزرگی می‌شود. تجربه ثابت کرده است که مقداری در محدوده ۱۲ تا ۲۵ برای اندازه جمعیت در مورد خیلی از توابع جواب قابل قبول می‌دهد.

$$12 < N_{pop} < 25$$

همان طور که اشاره شد نسل اول به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. در الگوریتم ژنتیک ساده فرض می‌شود که تعداد جمعیت ثابت است در حالیکه در طبیعت این گونه نیست. ۵- تعریف تابع انتخاب: در این مرحله از بین اعضاء جمعیت اولیه، یک جمعیت جدید تولید می‌شود. هر یک از اعضاء در این مرحله با توجه به لیاقتشان می‌توانند بیشتر از یک بار هم انتخاب شوند. یک روش معمول در انتخاب، تولید N عدد تصادفی بین صفر و یک و مقایسه آن با مجموع احتمالات است.

$$\Pi(i) = \sum_{j=1}^i PR(j)$$

چنانچه $\Pi(i-1) < \text{Ran}(0,1) < \Pi(i)$ باشد، این کروموزوم برای جمعیت جدید انتخاب می‌گردد.

روشهای مختلفی برای اختصاص احتمال انتخاب به هر عضو براساس میزان لیاقت آن وجود دارد. مانند گردونه شانس، درجه بندی خطی و درجه بندی هندسی. اولین روش محاسبه احتمال انتخاب، استفاده از گردونه شانس بود که در سال ۱۹۷۵ توسط Holland ([۵]) پیشنهاد گردید.

$$PR(i) = \frac{F(i)}{\sum_{j=1}^{PopSiz} F(j)}$$

۶- اعمال عملگرهای ژنتیک: عملگرهای ژنتیکی پایه مکانیزم جستجو در GA به شمار می‌روند و به دو نوع اصلی لقاح و جهش تقسیم می‌گردند. عملگر لقاح دو عضو جمعیت را به عنوان والدین نظر می‌گیرد و دو کروموزوم جدید تولید می‌کند، در حالیکه عملگر جهش ژنهای مربوط به کروموزومها را تغییر می‌دهد.

در سیستم اعداد دودویی که در آن با مجموعه ای از کدهای صفر و یک کار می‌شود به تعداد ژنها N عدد تصادفی تولید شده و جهش به روش زیر انجام می‌شود.

$$\begin{cases} 1-x_i & \text{if } \text{Ran}(0,1) < p_m \\ x_i & \text{otherwise} \end{cases}$$

همانطور که از این رابطه برمی آید اجزاء سمت چپ معادله اشاره به مکانیزمهای مختلف تولید دارند در حالی که اجزاء سمت راست، مقدار آب و هیدروکربن استخراج شده را نشان می دهند. دو ترم اول سمت چپ به انبساط نفت و گاز آزاد، ترم سوم انبساط سنگ و آب همزاد و ترم چهارم نیز شار آب ورودی به مخزن را نمایش می دهند. در سمت راست معادله هم که، ترم اول تولید نفت و گاز و ترم دوم میزان تولید آب را نشان می دهند. متغیرهای این معادله عبارتند از m (نسبت حجم کلاک گاز ی به مقدار نفت در شرایط اولیه)، N (حجم اولیه نفت درجا (STB)) و مقادیر W_e (شار آب ورودی به مخزن (bbl) برای مراحل زمانی متوالی). لذا اگر تعداد مراحل زمانی برابر n باشد، $(n+2)$ متغیر وجود خواهد داشت. هر یک از این $(n+2)$ متغیر به عنوان یک ژن در نظر گرفته شده اند که مجموعه آنها یک کروموزوم را می سازد.

ایجاد جمعیت اولیه

اندازه جمعیت برای مسائل مختلف تغییر می کند. چنانچه اندازه جمعیت (تعداد کروموزوم ها) برابر PS باشد، جمعیت ایجاد شده یک ماتریس $(n+2) \times PS$ خواهد بود.

$$Pop = \begin{bmatrix} m^1 & N^1 & W_{e1}^1 & \dots & W_{en}^1 \\ m^2 & N^2 & W_{e1}^2 & \dots & W_{en}^2 \\ m^3 & N^3 & W_{e1}^3 & \dots & W_{en}^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ m^{PS} & N^{PS} & W_{e1}^{PS} & \dots & W_{en}^{PS} \end{bmatrix}$$

Chromosome Gene

الگوریتم در ابتدا یک جمعیت تصادفی تولید می کند. بدیهی است که مقادیر اختصاص داده شده برای ژنها به وسیله تعریف حدود معقول برای آنها کنترل می شود تا از بازه اصلی خود خیلی دور نشوند.

تابع هدف

برای تعریف تابع هدف، از نظریه Havlena - Odeh استفاده شده است. برای بیان رابطه عمومی به صورت معادله یک خط راست تعاریف زیر صورت می گیرد.

عوض شده و دوباره رابطه بالا به کار گرفته می شود.

$$feasibility = \begin{cases} 1, & \text{if } x'_i \geq a_i, x'_i \leq b_i \quad \forall i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

۷- اعمال استراتژی جریمه: در این استراتژی، کروموزومهای خارج از محدوده، حذف نشده و در محاسبات به کار گرفته می شوند، اما برای آنها جریمه ای اختصاص می یابد. توابع جریمه را به دو دسته جریمه ثابت^۴ و جریمه متغیر^۵ تقسیم بندی می کنند. در توابع متغیر، با توجه به لیاقت کروموزوم، میزان جریمه هم فرق خواهد کرد.

۸- انتخاب جمعیت جدید: در این مرحله لیاقت هر کروموزوم در جمعیت جدید (جمعیت جایگزین شده یا افزوده شده طی مراحل قبلی) با استفاده از تابع هدف ارزیابی شده، سپس کروموزوم ها براساس لیاقتشان مرتب می شوند و بهترینها N_{pop} آنها به مرحله ۵ باز می گردد. ۹- توابع پایان دهنده: الگوریتم ژنتیکی حرکت خود را از نسلی به نسل دیگر طی می کند. والدین را انتخاب و فرزندان را تولید می نماید تا آنکه به یک شرط پایان دهنده برسد. معمولی ترین مبنای برای پایان یافتن الگوریتم ها، مشخص کردن ماکزیمم تعداد نسلهاست. یک استراتژی دیگر، توقف برنامه هنگام رسیدن به مبنای همگرایی جمعیت می باشد. یعنی وقتی مجموع انحراف معیارهای اعضاء جمعیت از یک مقدار معلوم کمتر شود، الگوریتم می تواند پایان یابد. عدم بهبود انحراف معیار طی چند نسل نیز یک مبنای دیگر برای پایان دادن به برنامه است. بسته به نوع تابع هدف، هر یک از موارد بالا می تواند به عنوان شرط پایان یافتن الگوریتم استفاده شود.

روش کار

Schilthuis کلی ترین شکل معادله موازنه مواد را به شکل زیر پیشنهاد نمود.

$$N(B_t - B_{ti}) + \frac{NmB_{ti}}{B_{gi}} (B_g - B_{gi}) + (1 + m)$$

$$NB_{ti} \left[\frac{c_w S_{wi} + c_f}{1 - S_{wi}} \right] \Delta p + W_e =$$

$$N_p [B_t + (R_p - R_{soi}) B_g] + B_w W_p$$

حل یک مثال

روش الگوریتم ژنتیکی برای یک مثال برگرفته شده از کتاب Fundamental of Reservoir Engineering ([۶]) به کار گرفته شد. جدول (۱) اطلاعات مربوط به مسأله را نشان می‌دهد. تعداد مراحل زمانی در این مثال برابر ۱۰ است و تعداد ۲۰ کروموزوم برای جمعیت در نظر گرفته شده است. از آنجا که مخزن مورد نظر زیر اشباع است، $m = 0$ بوده و در محاسبات نقشی ندارد. لذا جمعیت اولیه که به صورت تصادفی ایجاد می‌شود، یک ماتریس 20×11 خواهد بود. این مساله با فرض نفت اولیه درجای معلوم، به کار گیری مدل آبدۀ Hurst-Van Everdingen و تقسیم بازه فشاری به ۱۰ قسمت حل شده است (شکل ۱).

برای این کار از روش حدس و خطا استفاده شده است. بدین ترتیب که در هر مرحله مقداری برای شعاع آبدۀ فرض شده و با استفاده از مقادیر بدون بعد مدل آبدۀ حل شده است. جداول (۲) و (۳) نحوه حل مساله را برای دو شعاع بدون بعد حدس زده شده نشان می‌دهند. همانگونه که در این جداول آمده برای هر r_{eD} باید اصل برهم نهی استفاده شود و حجم زیادی از محاسبات انجام گردد. بدیهی است که این روش مستلزم صرف وقت زیادی می‌باشد. در نهایت چون مقادیر W_e به دست آمده با $r_{eD} = 5$ در رابطه Havlena-Odeh صدق کرده اند، به عنوان جواب ارائه شده اند.

الگوریتم ژنتیکی این مساله را بسیار ساده تر، با صرف وقت بسیار کم، با دقت بسیار خوب و بدون استفاده از مدل‌های آبدۀ حل می‌کند. میزان خطا در طی ۶۰۰ مرحله تکرار از ۱۰ به ۰/۰۰۶ رسیده است. شکل (۲) حل مساله را به صورت ترسیمی نشان می‌دهد. نکته قابل توجه یک بودن شیب خطی است که از نقاط به دست آمده گذشته است و دقت روش ژنتیک را نشان می‌دهد. مقایسه جوابهای الگوریتم ژنتیکی با جوابهای حاصل از روش تعریف مدل آبدۀ نیز در جدول (۴) آمده است. همانطور که این جدول نشان می‌دهد مقادیر شار آب ورودی به مخزن در هر مرحله زمانی دو روش کاملاً همخوانی دارند، در صورتی که روش ژنتیک بسیار زودتر به جواب می‌رسد.

$$F = N_p [B_t + (R_p - R_{soi})B_g] + B_w W_p \quad (bbl)$$

که میزان مواد استخراج شده را نشان می‌دهد.

$$E_o = (B_t - B_{ti}) \quad (bbl / STB)$$

که میزان انبساط نفت و گاز محلولش را نمایش می‌دهد.

$$E_g = B_{ti} \left(\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right) \quad (bbl / STB)$$

که اشاره به انبساط کلاهدگ گازی دارد.

$$E_{f,w} = (1 + m) B_{ti} \left(\frac{c_w S_{wi} + c_f}{1 - S_{wi}} \right) \Delta p$$

$$(bbl / STB)$$

که میزان انبساط سنگ و آب همزاد را نشان می‌دهد، و

$$E_t = E_o + m E_g + E_{f,w}$$

با استفاده از این تعاریف و جایگزینی ترمهای فوق در معادله عمومی، این رابطه به شکل زیر درمی‌آید:

$$\frac{F}{E_t} = N + \frac{W_e B_w}{E_t}$$

یعنی چنانچه مقادیر m ، N و W_e ها صحیح باشند،

نمودار $\frac{F}{E_t}$ بر حسب $\frac{W_e B_w}{E_t}$ یک خط راست به شیب

یک و عرض از مبدا N ایجاد خواهد کرد. مقادیر F و E_t با توجه به اطلاعات تولید و خواص PVT محاسبه شده و به صورت بردارهایی به مدل ژنتیک معرفی می‌شوند. تابع هدف یک تابع خطاست که باید مینیمم شود. این تابع با این ایده تعریف شده است که قدر مطلق، اختلاف مقادیر شار آب به دست آمده از رابطه خط راست، بر حسب m و N ایجاد شده توسط الگوریتم ژنتیکی، و مقادیر شار آب جمعیت الگوریتم به حداقل میزان ممکنه برسد. در این صورت m و N و W_e های ایجاد شده بهترین جواب برای معادله موازنه مواد خواهند بود.

$$W_{ecal} = \left(\frac{F}{E_t} - N_{Gen} \right) \frac{E_t}{B_w}$$

$$OF = \sum_{i=1}^{PS} \left| (W_{eGen})_i - (W_{ecal})_i \right|$$

هر چه میزان تابع هدف (OF) به صفر نزدیکتر باشد نسل ایجاد شده مرغوب تر بوده و به جواب مساله نزدیک تر خواهد بود.

جدول ۱: اطلاعات مربوط به مسأله .

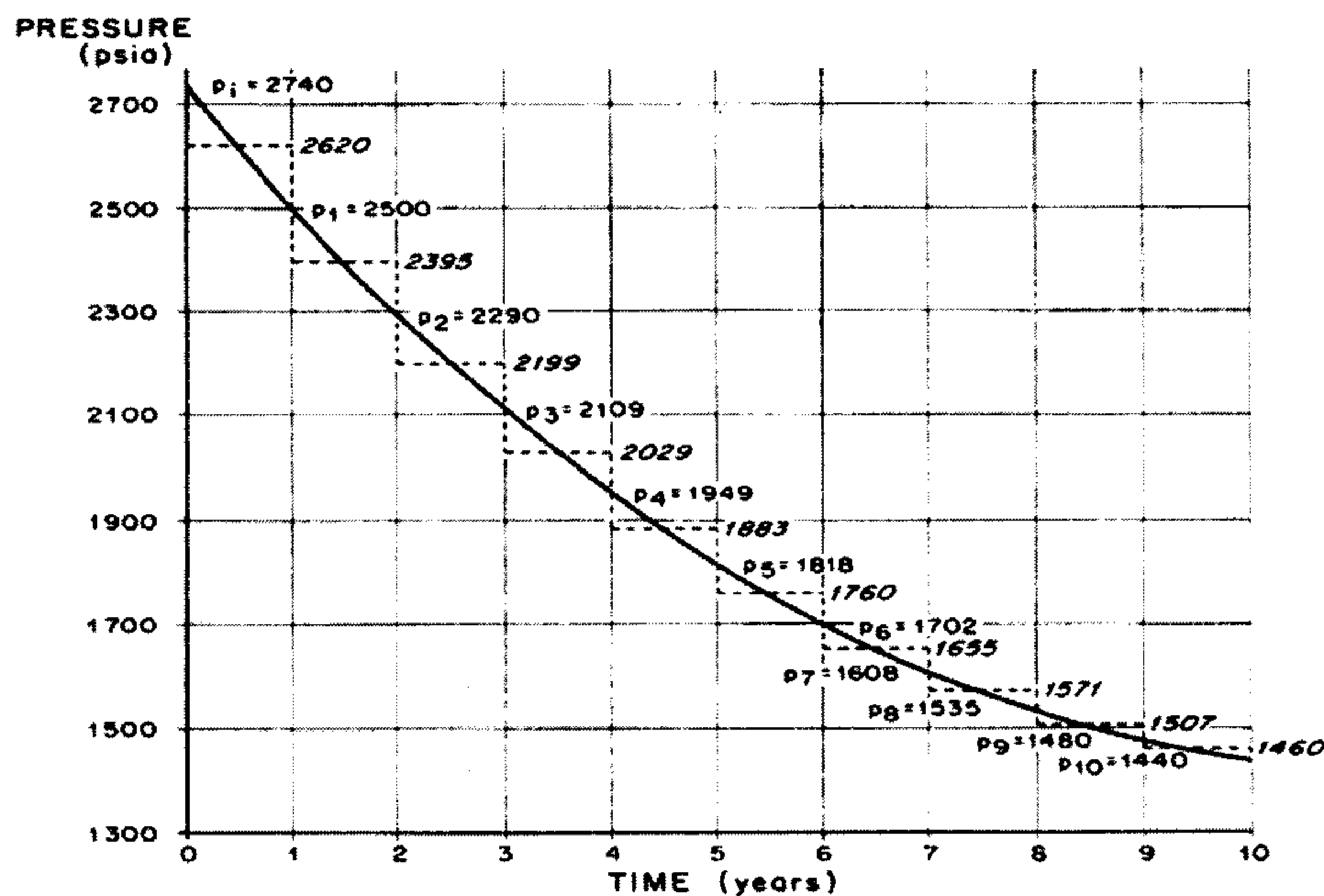
Time	P	F	E _t
0	2740	-	-
1	2500	12.12	0.03
2	2290	30.76	0.06
3	2109	52.83	0.09
4	1949	79.80	0.14
5	1818	105.96	0.19
6	1702	132.29	0.24
7	1608	157.08	0.29
8	1535	179.18	0.33
9	1480	196.65	0.36
10	1440	210.74	0.39

جدول ۲: محاسبه مقادیر آب ورودی برای $r_{eD} = 10$.

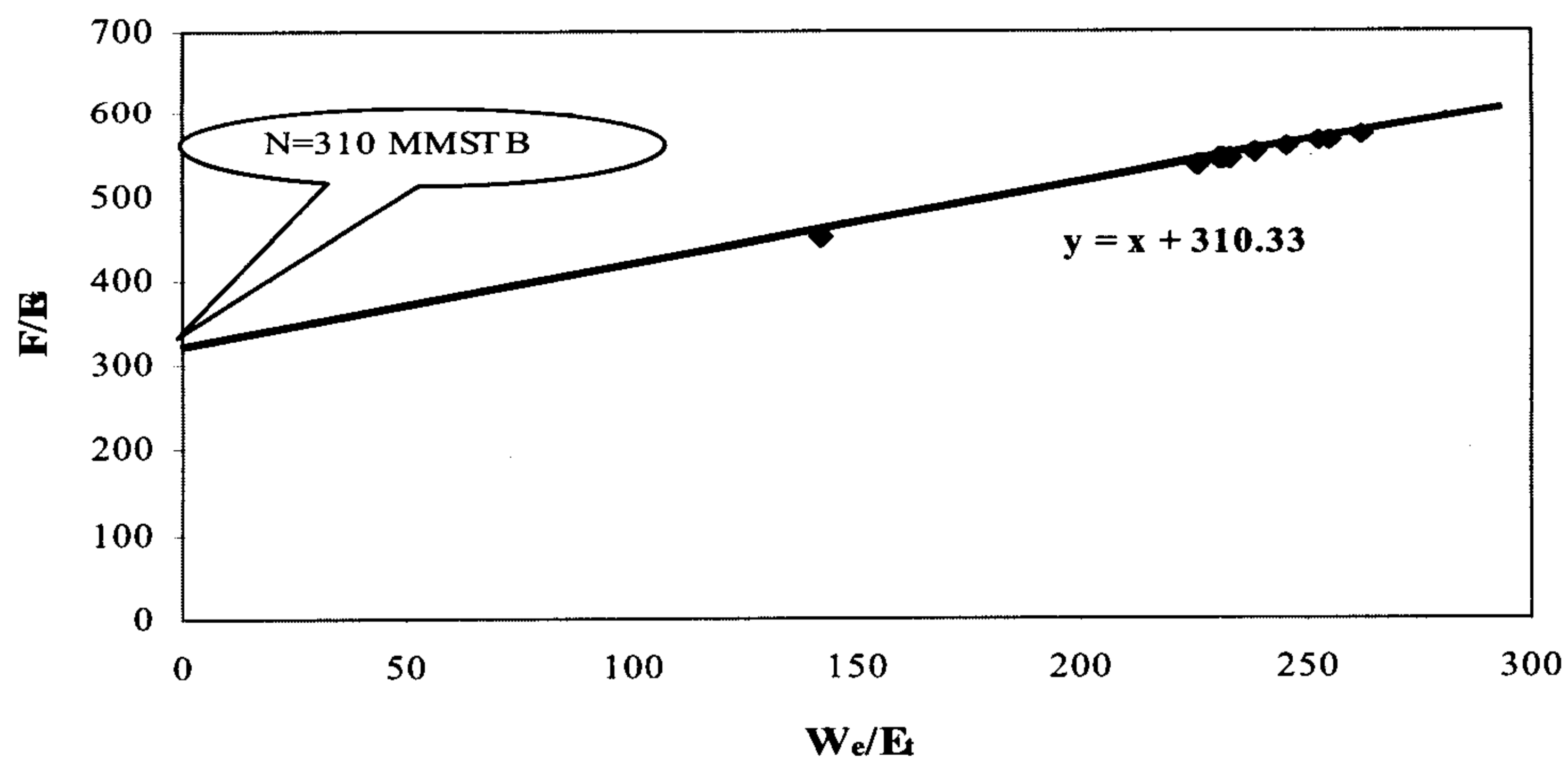
T (years)	$W_e = U \sum_{i=0}^{n-1} \Delta p_i W_D (T_D - t_{D_i})$	W_e (MMrb)
1	6446(120x4.95)	3.829
2	6446(120x8.12 + 225x4.95)	13.460
3	6446(120x10.90 + 225x8.12 + 196x4.95)	26.462
4	6446(120x13.50 + 225x10.90 + 196x8.12 + 170x4.95)	41.935
5	6446(120x15.90 + 225x13.50 + 196x10.90 + 170x8.12 + 146x4.95)	59.207
6	6446(120x18.10 + 225x15.90 + 196x13.50 + 170x10.90 + 146x8.12 + 123x4.95)	77.628
7	6446(120x20.20 + 225x18.10 + 196x15.90 + 170x13.50 + 146x10.90 + 123x8.12 + 105x4.95)	96.805
8	6446(120x22.20 + 225x20.20 + 196x18.10 + 170x15.90 + 146x13.50 + 123x10.90 + 105x8.12 + 84x4.95)	116.284
9	6446(120x24.00 + 225x22.20 + 196x20.20 + 170x18.10 + 146x15.90 + 123x13.50 + 105x10.90 + 84x8.12 + 64x4.95)	135.601
10	6446(120x25.70 + 225x24.00 + 196x22.20 + 170x20.20 + 146x18.10 + 123x15.90 + 105x13.50 + 84x10.90 + 64x8.12 + 47x4.95)	154.401

جدول ۳: محاسبه مقادیر آب ورودی برای $r_{eD} = 5$.

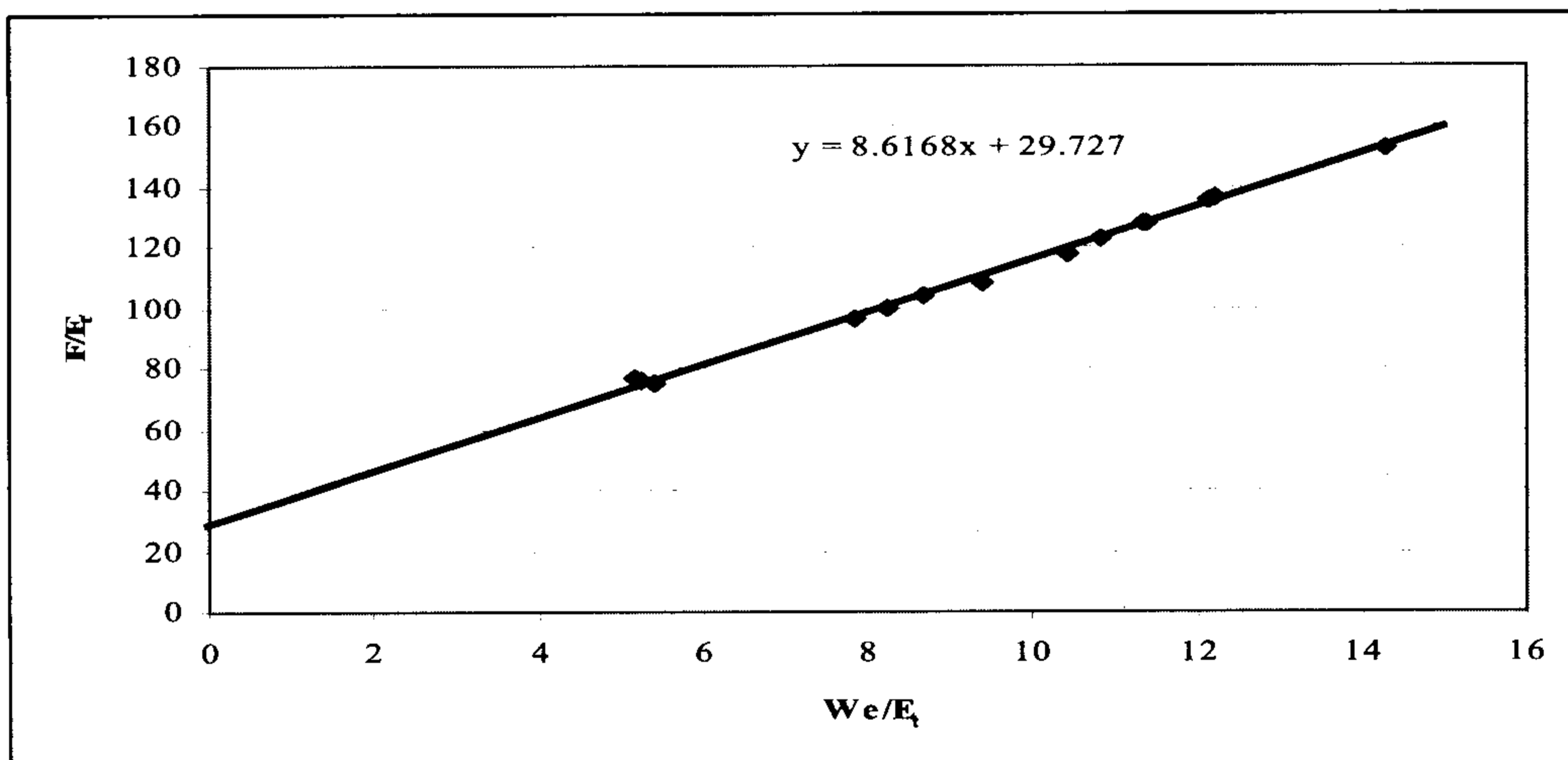
T (years)	$W_e = U \sum_{i=0}^{n-1} \Delta p_i W_D (T_D - t_{D_i})$	W_e (MMrb)
1	6446(120x4.88)	3.775
2	6446(120x7.46 + 225x4.88)	12.848
3	6446(120x9.10 + 225x7.46 + 196x4.88)	24.024
4	6446(120x10.09 + 225x9.10 + 196x7.46 + 170x4.88)	35.775
5	6446(120x10.83 + 225x10.09 + 196x9.10 + 170x7.46 + 146x4.88)	47.276
6	6446(120x11.27 + 225x10.83 + 196x10.09 + 170x9.10 + 146x7.46 + 123x4.88)	58.035
7	6446(120x11.52 + 225x11.27 + 196x10.83 + 170x10.09 + 146x9.10 + 123x7.46 + 105x4.88)	67.778
8	6446(120x11.69 + 225x11.52 + 196x11.27 + 170x10.83 + 146x10.09 + 123x9.10 + 105x7.46 + 84x4.88)	76.259
9	6446(120x11.81 + 225x11.69 + 196x11.52 + 170x11.27 + 146x10.83 + 123x10.09 + 105x9.10 + 84x7.46 + 64x4.88)	83.398
10	6446(120x11.89 + 225x11.81 + 196x11.69 + 170x11.52 + 146x11.27 + 123x10.83 + 105x10.09 + 84x9.10 + 64x7.46 + 47x4.88)	89.225



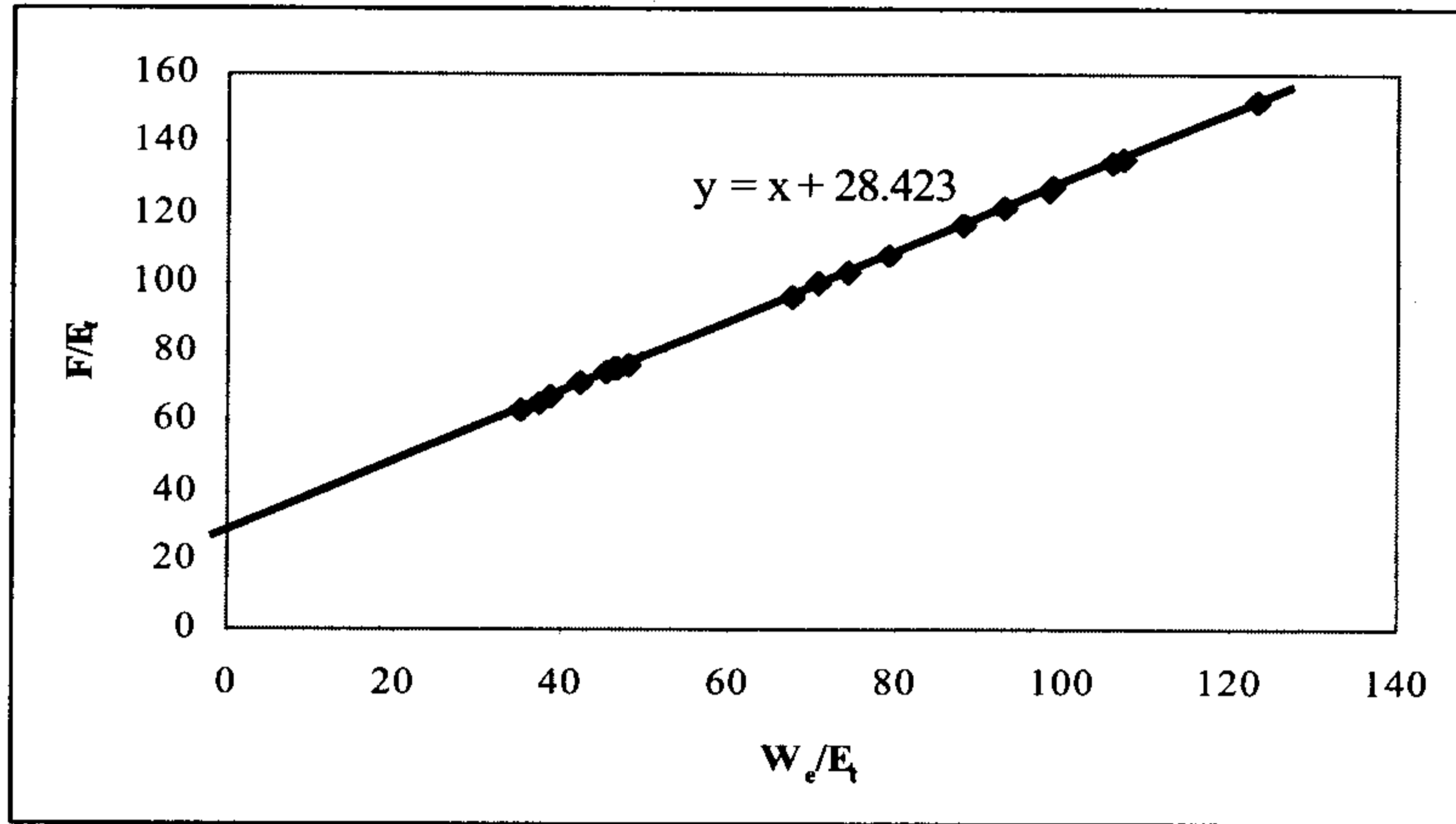
شکل ۱: تقسیم بازه تغییر فشار مخزن به ۱۰ قسمت.



شکل ۲: ترسیم نمودار Havlena-Odeh برای حل ژنتیکی مساله.



شکل ۳: ترسیم نمودار Havlena-Odeh برای میدان Guico.



شکل ۴: ترسیم نمودار خط راست برای نتایج الگوریتم ژنتیکی در میدان Guico.

جدول ۴: مقایسه جوابهای دو روش.

T	GA		Aquifer Model	
	N=310 MMSTB		N=312 MMSTB	
	W_e (MMbbl)	W_e/E_t	W_e (MMbbl)	W_e/E_t
1	3.81	142.02	3.77	140.67
2	12.94	225.51	12.85	223.83
3	24.18	261.93	24.02	260.28
4	36.00	255.14	35.78	253.54
5	47.58	252.96	47.28	251.33
6	58.42	245.45	58.04	243.84
7	68.24	238.44	67.78	236.82
8	76.77	232.72	76.26	231.16
9	83.98	231.35	83.40	229.75
10	89.84	230.66	89.23	229.08

جدول ۵: اطلاعات مربوط به میدان.

Time	P	E_o	E_g	F
0	2055			
1	1964	0.03	0.08	2.26
2	1924	0.05	0.11	3.46
3	1897	0.06	0.14	4.75
4	1879	0.06	0.16	5.65
5	1846	0.08	0.19	6.29
6	1814	0.09	0.22	8.50
7	1799	0.10	0.24	8.99
8	1781	0.11	0.26	9.75
9	1778	0.11	0.26	12.68
10	1760	0.12	0.28	14.20
11	1750	0.13	0.29	15.34
12	1738	0.13	0.31	16.80
13	1736	0.13	0.31	18.40
14	1764	0.12	0.28	19.00
15	1734	0.13	0.31	20.11
16	1729	0.14	0.32	20.62
17	1704	0.15	0.35	21.72
18	1719	0.14	0.33	22.69
19	1747	0.13	0.30	22.94

جدول ۶: مقایسه جوابها.

Time	GA			H-O Solution		
	N=28.4 MMSTB, m=0.0777			N=27 MMSTB, m=0.0731		
	We (MMbbl)	E _t (bbl/STB)	W _e /E _t	We (MMbbl)	E _t (bbl/bbl)	W _e /E _t
1	1.282	0.034	37.191	-	-	-
2	1.906	0.055	34.965	-	-	-
3	2.842	0.067	42.290	-	-	-
4	3.479	0.076	45.543	-	-	-
5	3.619	0.094	38.567	-	-	-
6	5.331	0.111	47.829	0.571	0.110	5.170
7	5.579	0.120	46.542	0.623	0.119	5.240
8	6.037	0.131	46.259	0.701	0.129	5.420
9	8.923	0.132	67.455	1.030	0.131	7.860
10	10.136	0.143	70.881	1.165	0.142	8.220
11	11.099	0.149	74.396	1.280	0.148	9.410
12	12.353	0.156	78.945	1.459	0.155	10.420
13	13.914	0.158	88.188	1.629	0.156	12.220
14	15.013	0.140	106.973	1.700	0.139	11.340
15	15.592	0.159	98.029	1.787	0.158	11.370
16	16.002	0.162	98.572	1.829	0.161	10.810
17	16.636	0.179	93.081	1.914	0.177	12.150
18	17.887	0.169	105.912	2.034	0.167	14.270
19	18.641	0.151	123.318	2.138	0.150	13.370

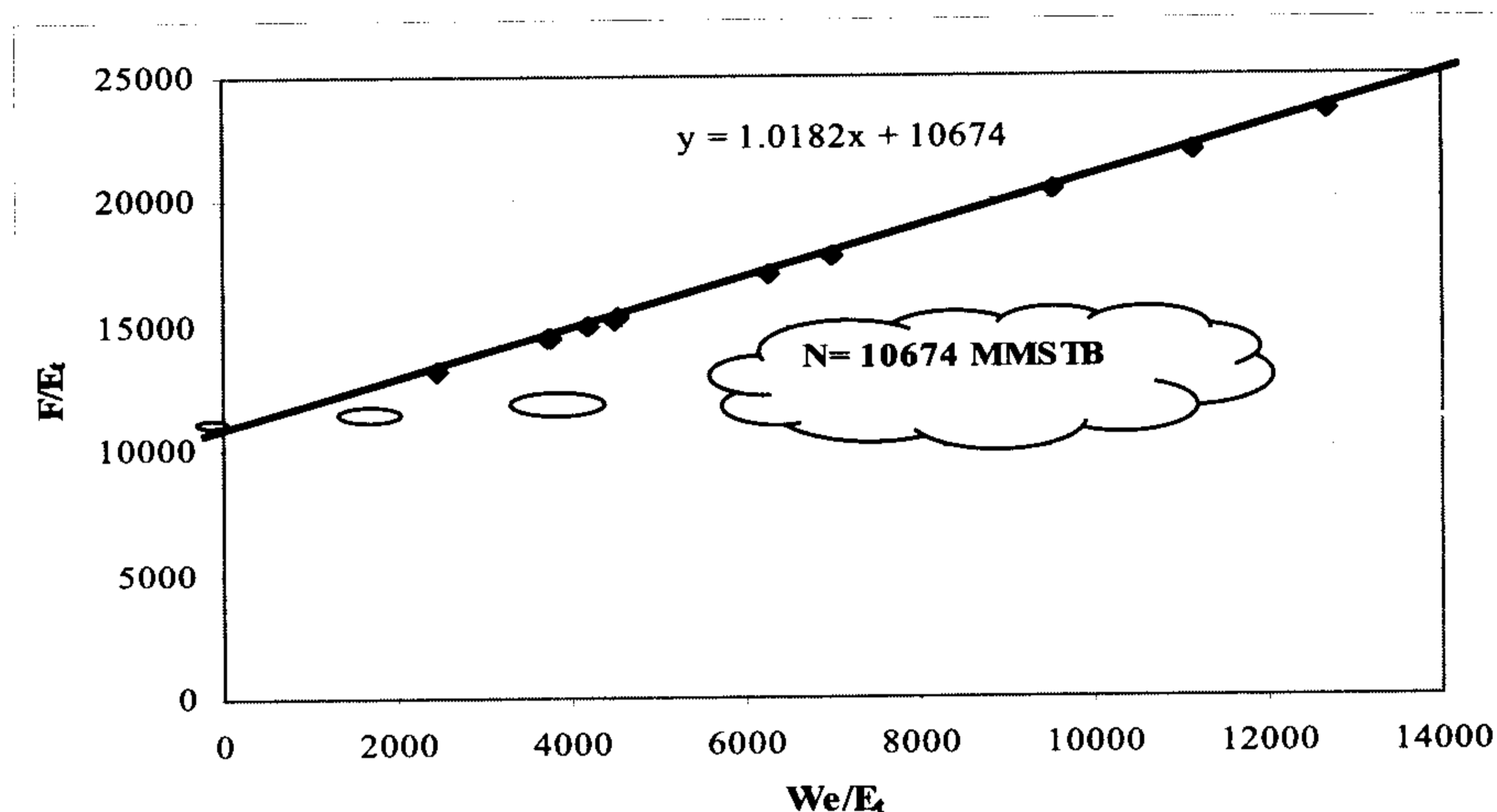
جدول ۷: اطلاعات و نتایج مربوط به میدان کربناته جنوب غرب ایران.

Time	P (psi)	F (bbl)	E _t (bbl/STB)	W _e (MMbbl)	W _e /E _t
0	4660	-	-	-	-
1	4560	34.32	0.002	9	3784.55
2	4450	74.38	0.006	14	2478.77
3	4370	116.74	0.008	30	3737.82
4	4280	160.48	0.011	45	4205.05
5	4200	199.74	0.013	59	4510.87
6	4090	250.40	0.016	74	4526.16
7	3950	350.22	0.021	129	6286.23
8	3780	455.49	0.026	179	6989.87
9	3655	598.58	0.029	280	9540.27
10	3480	761.83	0.035	386	11158.42
11	3385	883.60	0.037	475	12678.40

محاسبات موازنه مواد با الگوریتم ژنتیکی برای میدان Guico ونزوئلا

Havlena-Odeh در مقاله ای که برای اولین بار شکل خطی معادله موازنه مواد را پیشنهاد کردند (مرجع [۴])، محاسبات موازنه مواد در این مخزن را به عنوان یک شاهد برای روش خود ارائه داده اند. این مخزن یک مخزن اشباع است. جدول (۵) اطلاعات مربوط به میدان را نشان می دهد.

Havlena-Odeh برای m به مقدار تخمینی ۰/۰۷۳۱ اکتفا کرده و با فرض مدل آبد و روش سعی و خطا کوشیده اند تا مقادیر N و W_e را برای مراحل مختلف زمانی پیدا کنند. نکته قابل توجه این است که جوابهای آنها، در حل ترسیمی پیشنهادی خودشان خطی با شیب ۸ می دهد، در حالی که طبق نظریه خود آنها شیب این خط باید برابر با یک باشد (شکل ۳). این در حالی است که آنها برای دستیابی به نتایج بهتر از سالهای نخستین



شکل ۵: نتایج ترسیمی مربوط به میدان کربناته جنوب غرب ایران.

آوردند.

این مخزن، کلاهیگ گازی اولیه نداشته و زیر اشباع است. نکته قابل توجه در مورد این میدان عملکرد یکسان سراسر مخزن است به این معنی که فشار در سراسر میدان از روند یکسانی تبعیت می کند که نشانه ارتباط بسیار خوب قسمتهای مختلف میدان است.

جدول (۷) و شکل (۵) نتایج اطلاعات میدان را نشان می دهد. این نتایج با محاسبات حجمی نیز هم خوانی دارد.

نتیجه گیری

تخمین میزان نفت درجا در مخزن به مهندسی مخازن و تولید کمک می کنند تا استراتژی صحیح تری را برای تولید از آن در نظر گیرند. درک صحیح از نحوه عملکرد دینامیک مخزن نیز برای مطالعه جامع آن امری ضروری است. برای دستیابی به این دو مهم معادله موازنه مواد ابزاری کارآمد به شمار می رود. روش متداول حل این معادله که مبتنی بر فرض یک مدل آبدی برای مخزن و استفاده از اصل Superposition می باشد، مستلزم انجام محاسبات زیاد و استفاده از روش سعی و خطا است. این مقاله نشان می دهد الگوریتم با وجود حذف محاسبات زاید برای مسائل متفاوت به خوبی جواب می دهد. با توجه به گرافیکی بودن آن، این راه حل پیش بینی عملکرد آینده مخزن را نیز آسانتر می سازد. نکته اصلی در مورد این روش کارایی آن برای مخازن ایران است که با حل یک مثال عملی نشان داده شده است.

تاریخچه تولید هم صرف نظر کرده اند. زیرا که حل دقیق معادله موازنه مواد برای یک مثال عملی به روش سعی و خطا مشکل و وقت گیر است. همین مساله به وسیله الگوریتم ژنتیکی هم بررسی شد. در این روش m هم به عنوان متغیر معرفی شد و کل تاریخچه ۱۹ ساله مخزن نیز بررسی گردید. شیب خط به دست آمده در این روش دقیقاً برابر با یک می باشد (شکل ۴). جدول (۶) مقایسه نتایج دو روش را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود آبدی مخزن قویتر از میزان پیش بینی شده توسط Havlena-Odeh است. این مساله خود را در میزان آب ورودی از آبدی به مخزن نشان می دهد.

محاسبات موازنه مواد با الگوریتم ژنتیکی برای میدان کربناته جنوب غرب ایران

در نهایت روش الگوریتم ژنتیکی برای ۱۰ سال تاریخچه تولید یکی از میدانی کربناته جنوب غرب ایران نیز استفاده شد تا مشخص شود آیا این روش برای مخازنی با ساختمان زمین شناسی پیچیده و ساختار ترکدار نیز مناسب است یا خیر. پیچیدگی ساختاری این مخازن بر ابهامات موجود در عملکرد دینامیک آنها افزوده و باعث شده است که محققین برای دستیابی به نتایج بهتر اصلاحاتی را در معادلات عمومی موازنه مواد پیشنهاد کنند. از آن جمله می توان به کار Idrobo و N. S. Meza, C.E. Medina, A. Ordonez اشاره داشت که در سال ۲۰۰۱ (مرجع [۷])، طی مقاله ای معادله موازنه مواد در مخازن شکافدار طبیعی را بدست

مراجع

- 1 - Schilthuis, R. J. (1936). "Active oil and reservoir energy." *Trans. AIME*, Vol. 118, No. 33.
- 2 - Havlena, D. and Odeh, A. S. (1963). "The material balance as an equation of a straight line." *Journal of Petroleum Technology*, PP. 846-900.
- 3 - Havlena, D. and Odeh, A. S. (1964). "The material balance as an equation of a straight line-part II." *Journal of Petroleum Technology*, PP. 815-822.
- 4 - Goldberg, D. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*, Addition-Wesley.
- 5 - Holland, J. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press.
- 6 - Dake, L. P. (1993). *Fundamentals of reservoir engineering, 13th impression*, Elsevier Science Publishers pp. 317-324 (1993)
- 7 - Penuela, G., Idrobo, E. A., Ordonez, A., Medina, C. E. and Meza, N. S. (2001). "A new material-balance equation for naturally fractured reservoirs using a dual-system approach." *SPE 68831*, Paper presented at the SPE Western Regional Meeting held in Bakersfield, California.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Material Balance
- 2 - Oil In place
- 3 - Genetic Algorithm
- 4 - Constant Penalty
- 5 - Variable Penalty