تخمین و مدل‌سازی حجم اولیه نفت درجا، نفت قابل استحصال و ضریب بازیافت مخازن نفتی کربناته

ایمان شکوهی پور[1] - دکتر محسن مسیحی[2]

گروه مهندسی نفت ، واحد امیدیه ، دانشگاه آزاد اسلامی ، امیدیه ، ایران

Archive of SID

چکیده:

در گذشته مطالعات زیادی جهت تخمین میزان بازیافت انواع مخازن نفتی صورت گرفته است اما به دلیل اهمیت موضوع کافی نبوده است. لذا به منظور تکمیل این مطالعات و افزایش اعتبار روابط تجربی حاصل از آنها، با جمع‌آوری نمونه‌های باکیفیت از مخازن نفتی کربناته و بر اساس دو مکانیزم غالب رانش گاز محلول و رانش آب، علاوه بر مدل‌سازی میزان بازیافت (حجم نفت قابل استحصال)، حجم نفت درجا و ضریب بازیافت این مخازن را مدل‌سازی نمودیم. مدل‌سازی را بر اساس تکنیک رگرسیون خطی چندگانه به روش گام به گام و توسط نرم افزار پیشرفتهٔ آماری Minitab انجام داده و به نتایج قابل قبولی دست یافتیم. از آنجا که نمی‌توان تنها به صرف اینکه مقدار ضریب تعیین (R^2) بدست آمده زیاد است، مدل را جهت پیش گویی نمونه‌های جدید مناسب دانست؛ به آماره‌های دیگر نظیر S، C_p، PRESS و به خصوص آمارهٔ R^2_{pred} توجه زیادی نمودیم. تمامی مدل‌ها به لحاظ آماری معنادار هستند. نکتهٔ قابل توجه اینکه از مقادیر تخمینی حجم ذخایر جهت مدل‌سازی ضریب بازیافت استفاده نمودیم؛ چرا که اولاً مقدار واقعی حجم نفت درجا همواره مجهول بوده و ثانیاً مقدار واقعی نفت قابل بازیافت تنها در پایان عمر مخزن مشخص می شود. البته پارامتر نفت درجای تخمینی در تمامی معادلات تجربی مربوط به حجم نفت قابل بازیافت و نیز ضریب بازیافت این مخازن حضور دارد. همچنین پارامتر حجم نفت قابل بازیافت نیز در تمامی معادلات تجربی مربوط به ضریب بازیافت با تأثیر مثبت حضور دارد. اما بدیهی است تخمین حجم ذخایر و به تبع آن ضریب بازیافت مخازن نفتی با عدم قطعیت ذاتی همراه می‌باشد و نمی‌توان به رابطهٔ تجربی ایده‌آل دست یافت.

واژه‌های کلیدی: مخازن کربناته، حجم نفت درجا، حجم نفت قابل بازیافت، ضریب بازیافت، مدل‌سازی.

1- iman.shokouhi@yahoo.com

2- masihi@sharif.edu

www.SID.ir

مقدمه:

وقتی یک میدان نفتی یا گازی جدید کشف می‌شود، یکی از مباحث اصلی و نگرانی‌های بخش مدیریت، برآورد میزان درآمد حاصل از تولید این مخازن است. میزان درآمد آتی یک مخزن به تعداد بشکه‌های قابل بازیافت نفت تولید شده که به صورت کسری و تحت عنوان ضریب بازیافت شناخته می‌شود، بستگی دارد[3]. نوع مکانیزم تولیدی تأثیر زیادی در میزان نفت تولیدی و ضریب بازیافت نهایی مخزن دارد.

حجم ذخایر و ضریب بازیافت میادین نفتی تابع دو دسته از متغیرهاست: 1- متغیرهای استاتیک، ازجمله: حجم سنگ مخزن، تخلخل، اشباع سیالات، ضخامت ستون نفتی، ضخامت خالص به ضخامت کل، عمق، تراوایی سنگ و ... . 2- متغیرهای دینامیک، مانند: مکانیزم‌های رانش طبیعی، فشار، دما، ویسکوزیته، درجهٔ API، ضریب حجمی سیالات، حلالیت گاز و ... [1]. آنچه مسلم است اینکه متغیرهای مذکور می‌توانند در مقدار نفت‌درجا، مقدار نفت قابل استحصال و در نهایت بر ضریب بازیافت اولیهٔ مخزن تأثیر مثبت (فزاینده) و یا منفی (کاهنده) داشته باشند و حتماً باید به عنوان متغیرهای پیشگو در مدلسازی‌ها لحاظ گردند. از دیگر فاکتورهای حساس و مهم می‌توان به میزان ناهمگنی مخزن، تکنیک‌های مورد استفاده جهت تخلیهٔ مخازن، هندسهٔ مخزن و ... اشاره نمود که امکان ورود آنها به مدل‌سازی فراهم نیست اما می‌توانند بسیار تأثیرگذار باشند.

از گذشته تلاش‌های زیادی جهت تخمین و تعیین ضریب بازیافت صورت گرفته است؛ در سال 1945، انجمن نفت آمریکا (API) نخستین گام در جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات جهت دست‌یابی به رابطه‌ای میان پارامترهای سنگ و سیال با میزان بازیافت مخازن هیدروکربوری را برداشت و به نتایجی نیز دست یافت. در سال 1984 آنها مطالعات خود را با همان هدف قبلی بر روی داده‌های جدیدتر و بیشتری ادامه دادند و مطالعه آنها بر پایهٔ داده‌های مربوط به عملکرد واقعی میادین در حال تولید و نه بر اساس داده‌های تئوری یا آزمایشگاهی بود که در نهایت معادلات تجربی جدیدی برای بازیافت اولیهٔ مخازن نفتی تحت رانش گاز محلول و آب ارائه نمودند.

هدف از انجام این مطالعه، بررسی و تکمیل مطالعات گذشته بر مبنای همان داده‌های قبلی موسسهٔ API و البته این بار، استفاده از نمونه‌هایی با کیفیت بالا و حتی‌الامکان نرمال و چشم‌پوشی از نمونه‌های با داده‌های پرت یا بعضاً مجهول، جهت تکمیل و بهبود معادلات قبلی، به منظور تخمین و مدل‌سازی حجم اولیه نفت درجا، حجم نفت قابل استحصال و ضریب بازیافت مخازن نفتی کربناته طی دو مکانیزم رانش گاز محلول و رانش آب و نیز استفاده از تجزیه و تحلیل‌های قبلی به عنوان راهنمایی مهم جهت پیشبرد و افزایش دقت و اعتبار معادلات تجربی جدید بر اساس مدل‌سازی آماری با تکنیک رگرسیون خطی چندگانه به روش گام به گام می‌باشد.

روش آماری تحقیق:

نرم افزار Minitab یکی از نرم افزارهای کاربردی با خروجی‌های بسیار دقیق در زمینهٔ تجزیه و تحلیل‌های آماری است. رگرسیون خطی چندگانه، یک تکنیک یادگیری نظارتی است که به وسیلهٔ آن می‌خواهیم تغییرات یک متغیر وابسته را به وسیلهٔ ترکیب خطی از یک یا چند متغیر مستقل مدل کنیم. ابتدا مدل کامل خطی را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^{n} \beta_{ij} x_{ij} + e_i$$

در اینجا فرض بر آن است که متغیرهای پیشگو همگی ثابت و مستقل هستند، e_i ها از یگدیگر مستقل بوده، دارای توزیع نرمال، میانگین صفر و واریانس σ^2 می باشند. این فرض‌ها برای ساختن یک مدل ضروری است[2]. اما حالت کلی معادلهٔ رگرسیون خطی چندگانه با k متغیر پیشگو به صورت زیر می‌باشد:

Archive of SID

www.SID.ir

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \cdots + b_kx_k$$

هدف استفاده از روش‌های رگرسیونی، دستیابی به زیر مجموعه‌ای با k متغیر پیش‌بینی کننده و با کمترین مقدار مربعات خطا (Least-Square Method) است[4]؛ تا این قسمت مدلی مشخص را به عنوان الگویی برای داده‌ها معرفی کرده‌ایم. سپس مدل به لحاظ قابل استفاده بودن و اینکه تا چه حد می‌تواند خوب داده‌ها را برازش نماید، بررسی و در مورد بکارگیری مدل تصمیم گرفته می‌شود. تحلیل رگرسیونی فرآیندی همراه با تکرار و بازنگری است، یعنی در ابتدا مدلی معرفی می‌شود، کیفیت مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد، مدل قبول و یا اینکه مجدداً اصلاح می‌شود. نکتهٔ حائز اهمیت اینکه، هر چند تحلیل‌های رگرسیون وابستگی یک متغیر به سایر متغیرها را بررسی می‌کند اما الزاماً بیانگر حالت علیت نمی‌باشد. همچنین انتخاب روش مناسب، مهم‌ترین قدم در تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده محسوب می‌گردد. رگرسیون چندگانهٔ گام به گام (stepwise) به عنوان بهترین روش، ترکیبی از روش‌های رو به جلو (Forward) و رو به عقب (Backward) جهت ورود یا خروج متغیرهای پیشگو می‌باشد. در روش‌های آماری مهندسی، سطح معناداری جهت ورود متغیر به مدل را $\alpha = 0/1$ و جهت حذف از مدل را $\alpha = 0/15$ لحاظ می‌کنند[4].

در هر مطالعه، پژوهشگر برای اینکه شرطی جهت معناداری یک مشاهده لحاظ نماید، ابتدا فرضیه سازی می‌کند. دو فرضیهٔ کاملاً متضاد در این باره وجود دارد: 1- فرض صفر (H_0)، 2- فرض جایگزین (H_a). فرضیه صفر بیانگر وضعیت موجود می‌باشد و همیشه در ابتدا فرض می‌شود که فرضیهٔ صفر درست است. در مقابل فرضیهٔ صفر، فرضیهٔ جایگزین (H_a) را داریم و عموماً نتیجه‌ای است که محقق سعی دارد که آن را به دست آورد. آزمون مربوط به انتخاب یا رد فرضیهٔ H_0 را آزمون فرضیه نامند.

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$
$$H_a : \text{At least one } \beta \text{ parameter} \neq 0$$

محاسبهٔ P-value و ارائه آن را آزمون معنی‌داری گویند؛ و هر چه مقدار آن کمتر باشد، شک ما به صحت فرض اولیه بیشتر می‌شود. به طور قراردادی مرز 0/05 برای P-value بکار برده می‌شود و مقادیر کمتر از آن به این صورت تفسیر می‌شود که مشاهدهٔ ما از لحاظ آماری معنادار (significant) بوده و فرضیهٔ H_a برای این مشاهده برقرار است. از طرفی هر چه مقدار P-value کمتر باشد، مقدار T-value بیشتر است؛ وجود این شرایط برای تمامی متغیرهای مستقل موجود در مدل نهایی الزامی است. در تحقیقات تجربی مبتنی بر تحلیل رگرسیون، به آماره‌های P-value ، C_p ، S، PRESS ، R^2 ، R^2_{adj} ، R^2_{pred} و مقدار Durbin-Watson توجه زیادی می‌شود. بهترین مدل رگرسیونی برازش شده باید شرایط زیر را دارا باشد:

1- مقدار PRESS حداقل باشد. 2- مقدار C_p حتی المقدور مینیمم و برابر تعداد متغیرهای مستقل موجود در مدل به علاوهٔ یک مقدار ثابت باشد ($C_p = p + 1$). 3- مقدار انحراف معیار باقیمانده‌ها یعنی $S = \sqrt{MSE}$، حداقل باشد.4- مقادیر R^2 ، R^2_{adj} و به خصوص R^2_{pred} حتی الامکان بالا باشند. 5- کل متغیرهای مستقل موجود در مدل از لحاظ آماری رابطهٔ معناداری با متغیر پاسخ داشته باشند ($p \leq 0.05$). 6- مقدار آمارهٔ دوربین واتسون بین 1/5 و 2/5 باشد (جهت عدم خود همبستگی). 7- مدل در سطح اطمینان 99٪ از لحاظ آماری معنادار باشد ($P_{reg} \leq 0.01$)[2].

نکته‌ای که لازم است به آن اشاره نماییم اینکه R^2_{pred} (ضریب تعیین مدل جهت تخمین بر اساس نمونه‌های جدید) نسبت به R^2_{adj} جهت مقایسهٔ مدل‌ها مفیدتر است؛ زیرا بر اساس مشاهداتی که در محاسبات مدل موجود نیستند، تعیین می‌گردد. R^2_{pred} توسط آمارهٔ PRESS محاسبه می‌شود؛ لذا هر چه مقدار PRESS کمتر باشد، R^2_{pred} بیشتر و توانایی تخمین مدل برای نمونه‌های جدید (نمونه‌هایی که مقادیر متغیرهای مستقل آنها در دامنهٔ تغییرات متغیرهای مستقل استفاده شده در برازش مدل قرار داشته باشند) بالاتر خواهد شد[4]. نرم‌افزار Minitab نیز ترجیحاً مدل‌های با بیشترین مقدار R^2_{pred} را انتخاب کرده و آن را به عنوان بهترین معیار برای نیکویی برازش می‌شناسد.

Archive of SID

www.SID.ir

تجزیه و تحلیل داده‌های مورد نیاز:

این مطالعه بر مبنای با کیفیت‌ترین نمونه‌هایی می‌باشد که موسسهٔ API در سال 1984 جهت مطالعات آماری خود بر میزان بازیافت مخازن نفتی جمع‌آوری کرده بود. سعی و دقت شده که نمونه‌ها داده‌های پرت ویا بعضاً مجهول نداشته باشند. نهایتاً 40 مخزن کربناته با مکانیزم غالب رانش گاز محلول (منظور از مکانیزم غالب، رانشی است که حداقل 75 درصد از انرژی طبیعی و اولیه مخزن جهت تولید را تأمین می‌کند) و 25 مخزن تحت مکانیزم غالب رانش آب جهت مدل-سازی حجم ذخایر و ضریب بازیافت برگزیده و انتخاب شدند. داده‌های مورد استفاده جهت مدل‌سازی نیز شامل خواص سنگ و سیال مخزن است. پارامترهای مستقل بسته به نوع مکانیزم رانش به میزان بسیار کمی متفاوتند. پارامترهای مخزنی اولیه برای مکانیزم رانش گاز محلول عبارتند از :

$h,\varphi,k,(k/\mu ob),Sw,T,API,Pi,Pb,Pep,(Pb/Pa),\mu oi,\mu ob,\mu oa,\mu w,Rsi,Rsb,Rsa,Boi,Bob,Boa,$ $OOIPcalc,OOIPactu,RECactu,RFactu.$

پارامترهای اولیه برای مکانیزم رانش آب نیز از این قرارند:

$h,\varphi,k,\sqrt{(k/\varphi)},k(\mu wi/\mu oi),Sw,T,API,Pi,Pb,Pep,(Pi/Pa),\mu oi,\mu ob,\mu oa,\mu w,Rsi,Rsb,Rsa,Boi,$ $Bob,Boa,OOIPcalc,OOIPactu,RECactu,RFactu.$

پارامترهای RECactu(STB/NAF)، OOIPactu(STB/NAF) و RFactu(%) پارامترهای پاسخ هستند و بقیه پارامترها به عنوان پارامترهای مستقل جهت ورود به مدل و تخمین متغیرهای پاسخ بکار می‌روند. همچنین شکل لگاریتمی (ln) تمامی متغیرهای مستقل و نیز شکل نمایی (exp) برخی پارامترهای مهم چون φ، Sw، μo و Bo به عنوان سایر متغیرهای مستقل جهت مدل‌سازی اضافه گردید.

تخمین و مدل‌سازی حجم اولیه نفت درجای مخازن کربناته:

رانش گاز محلول:

Regression Analysis: OOIPpred(STB/NAF) versus Pi(psi); Rsb(SCF/BBL); ...

The regression equation is:

```
OOIPpred(STB/NAF) = - 103 + 0.00654 Pi(psi) - 0.0652 Rsb(SCF/BBL)
                    + 93.9 Bob(BBL/STB) + 1.02 OOIPcalc(STB/NAF)
```

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-102.77	38.67	-2.66	0.012
Pi(psi)	0.006535	0.002068	3.16	0.003
Rsb(SCF/BBL)	-0.06522	0.01924	-3.39	0.002
Bob(BBL/STB)	93.86	37.15	2.53	0.016
OOIPcalc(STB/NAF)	1.01906	0.01681	60.63	0.000

S = 11.3075 R-Sq = 99.3% R-Sq(adj) = 99.2%
PRESS = 6005.14 R-Sq(pred) = 99.08% Cp = 5.0

Analysis of Variance:

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	648120	162030	1267.26	0.000
Residual Error	35	4475	128		
Total	39	652595			

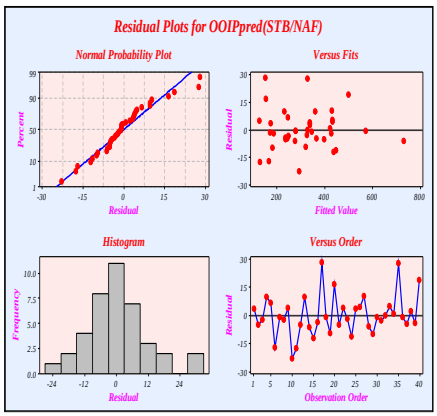
Durbin-Watson statistic = 1.95776

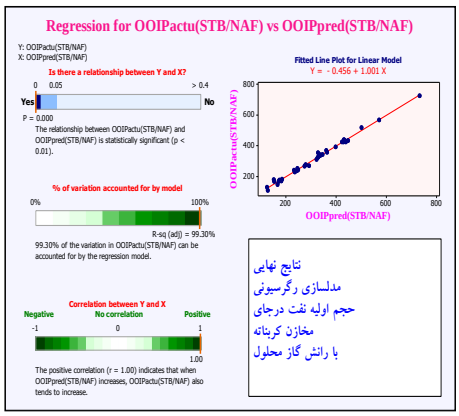
شکل1- نمودار باقیمانده‌های مدل سازی حجم اولیه

شکل2- نمودار نتایج نهایی مدل سازی حجم اولیه

Archive of SID

www.SID.ir





شکل های 1 و 2، نتایج بسیار خوبی را نمایش می‌دهند. طبق خروجی، معادلهٔ تجربی چنین می‌باشد:

$$OOIPpred\ (STB/NAF) = -103 + 0.00654\ Pi - 0.0652\ Rsb + 93.9\ Bob + 1.02\ OOIPcalc \qquad (1)$$

برای این مدل‌سازی R^2_{adj} = 99/2٪ ، R^2_{pre} =99/08٪ ، S = 11/31 (STB/NAF) و r = 1/0 به دست آمد.

رانش آب:

Regression Analysis: OOIPpred(STB/NAF) versus Pi(psi); μoi(cp); ...

The regression equation is:

OOIPpred(STB/NAF) = 169 - 0.00630 Pi(psi) - 1.71 μoi(cp)
+ 1.07 OOIPcalc(STB/NAF) + 40.5 Ln(T) + 26.7 Ln(μw)
- 299 exp(φ) - 15.4 exp(μw)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	168.53	49.66	3.39	0.003
Pi(psi)	-0.006297	0.001383	-4.55	0.000
μoi(cp)	-1.7114	0.2445	-7.00	0.000
OOIPcalc(STB/NAF)	1.06619	0.01280	83.27	0.000
Ln(T)	40.460	8.960	4.52	0.000
Ln(μw)	26.700	8.923	2.99	0.008
exp(φ)	-299.21	44.64	-6.70	0.000
exp(μw)	-15.356	3.763	-4.08	0.001

S = 3.48886 R-Sq = 100.0% R-Sq(adj) = 100.0%
PRESS = 499.673 R-Sq(pred) = 99.97% Cp = 8.0

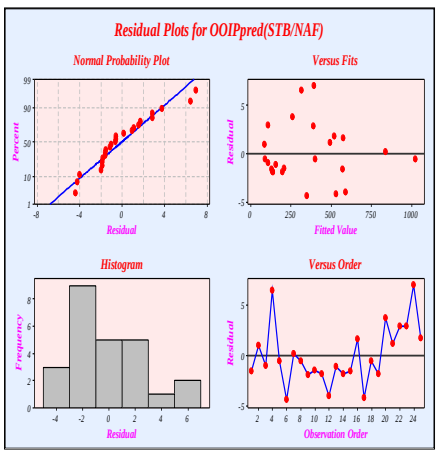
Analysis of Variance:

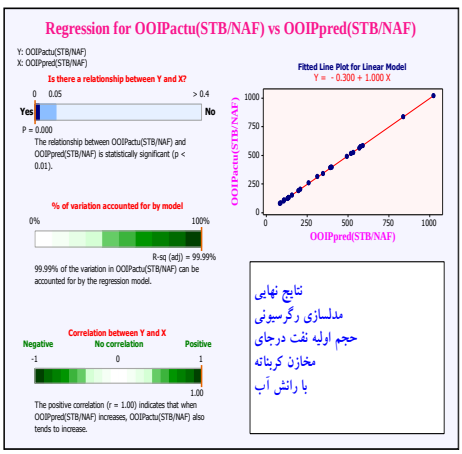
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	7	1473987	210570	17299.26	0.000
Residual Error	17	207	12		
Total	24	1474194			

Durbin-Watson statistic = 1.50589

شکل3- نمودار باقیمانده‌ها، مدل‌سازی حجم اولیه

شکل4- نمودار نتایج نهایی، مدل سازی حجم اولیه





Archive of SID
www.SID.ir

با توجه به خروجی نرم افزار و شکل‌های 3 و 4، مدل برازش شده کاملاً نیکوست. از این مدل‌سازی معادله تجربی زیر جهت تخمین حجم نفت درجای مخازن کربناته تحت رانش آب به دست آمد:

$$OOIP_{pred}\ (STB/NAF) = 169 - 0.00630\ Pi - 1.71\ \mu oi + 1.07\ OOIP_{calc} + 40.5\ \ln(T) + 26.7\ \ln(\mu w) - 299\ \exp(\varphi) - 15.4\ \exp(\mu w) \qquad (2)$$

برای این معادله $R^2_{adj} = 100٪$ ، $R^2_{pre} = 99/97٪$ ، S = 3/49 (STB/NAF) و r = 1/0 حاصل شد.

تخمین و مدل‌سازی حجم نفت قابل استحصال(میزان بازیافت) مخازن کربناته:

رانش گاز محلول:

Regression Analysis: RECpred(STB/NAF) versus (k/μob); sw(%); ...

The regression equation is:

RECpred(STB/NAF) = - 755 + 0.137 (k/μob) + 221 sw(%) - 0.656 (Pb/Pa)
+ 359 μw(cp) + 101 Bob(BBL/STB) - 45.1 Ln(sw) - 178 Ln(μw)
- 12.6 exp(Bob) + 48.5 Ln(OOIPpred)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-755.5	123.7	-6.11	0.000
(k/μob)	0.13748	0.02847	4.83	0.000
sw(%)	220.92	67.37	3.28	0.003
(Pb/Pa)	-0.6565	0.1589	-4.13	0.000
μw(cp)	359.50	86.72	4.15	0.000
Bob(BBL/STB)	100.57	33.53	3.00	0.005
Ln(sw)	-45.06	18.85	-2.39	0.023
Ln(μw)	-178.32	48.64	-3.67	0.001
exp(Bob)	-12.605	5.542	-2.27	0.030
Ln(OOIPpred)	48.548	4.701	10.33	0.000

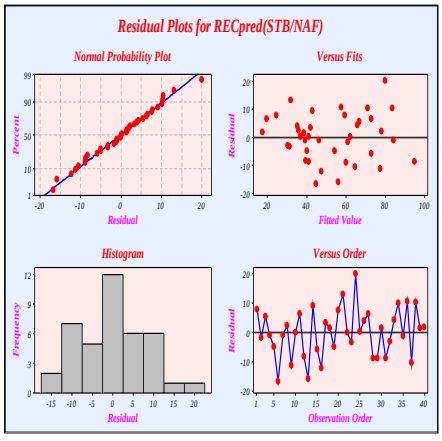
S = 9.32948 R-Sq = 84.8% R-Sq(adj) = 80.2%
PRESS = 4197.07 R-Sq(pred) = 75.56% Cp = 10.0

Analysis of Variance:

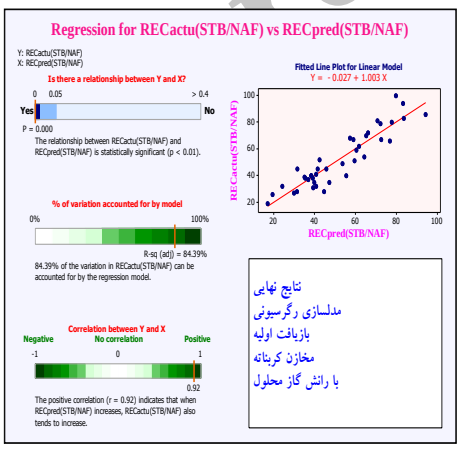
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	9	14563.8	1618.2	18.59	0.000
Residual Error	30	2611.2	87.0		
Total	39	17175.0			

Durbin-Watson statistic = 2.11566

شکل5- نمودار باقیمانده‌ها، مدل‌سازی حجم نفت قابل بازیافت



شکل6- نمودار نتایج نهایی، مدل‌سازی حجم نفت قابل بازیافت



نتایج مربوط به این مدل‌سازی در خروجی مربوط به آنالیز رگرسیون کاملاً مشخص است. شکل‌های 5 و 6 نیز بیانگر نتایج مناسبی می‌باشند. معادلهٔ تجربی حاصل از این مدل‌سازی به قرار زیر است:

Archive of SID

www.SID.ir

$$RECpred\ (STB/NAF) = -755 + 0.137\ (k/\mu ob) + 221\ Sw - 0.656\ (Pb/Pa) + 359\ \mu w + 101\ Bob - 45.1\ \ln(Sw) - 178\ \ln(\mu w) + 48.5\ \ln(OOIPpred) - 12.6\ \exp(Bob) \quad (3)$$

در این معادلهٔ تجربی R^2_{adj} = 80/2٪ ، R^2_{pre} = 75/56٪ ، S = 9/33 (STB/NAF) و r = 0/92 (ضریب همبستگی پیرسن) می‌باشد.

رانش آب:

Regression Analysis: RECpred(STB/NAF) versus h(ft); sq(k/φ); ...

The regression equation is:

RECpred(STB/NAF) = - 184 + 0.291 h(ft) - 0.391 sq(k/φ) + 39.3 μoi(cp) - 63.5 μob(cp) + 140 Ln(T) - 64.8 Ln(Pi) + 68.5 Ln(μob) + 257 Ln(Boa) + 0.402 OOIPpred(STB/NAF)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-184.3	139.5	-1.32	0.206
h(ft)	0.29061	0.05534	5.25	0.000
sq(k/φ)	-0.3914	0.1260	-3.11	0.007
μoi(cp)	39.301	7.678	5.12	0.000
μob(cp)	-63.529	9.029	-7.04	0.000
Ln(T)	139.99	49.92	2.80	0.013
Ln(Pi)	-64.85	19.06	-3.40	0.004
Ln(μob)	68.46	16.44	4.16	0.001
Ln(Boa)	256.57	56.96	4.50	0.000
OOIPpred(STB/NAF)	0.40238	0.04279	9.40	0.000

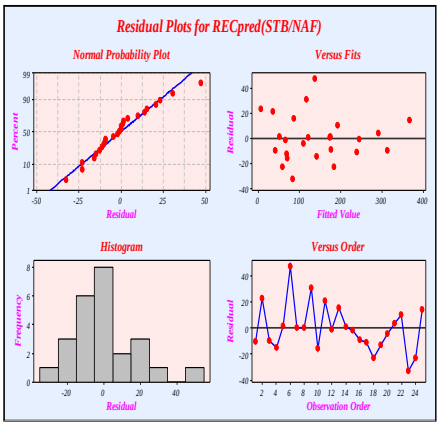
S = 22.9655 R-Sq = 96.4% R-Sq(adj) = 94.2%
PRESS = 18040.1 R-Sq(pred) = 91.78% Cp = 10.0

Analysis of Variance:

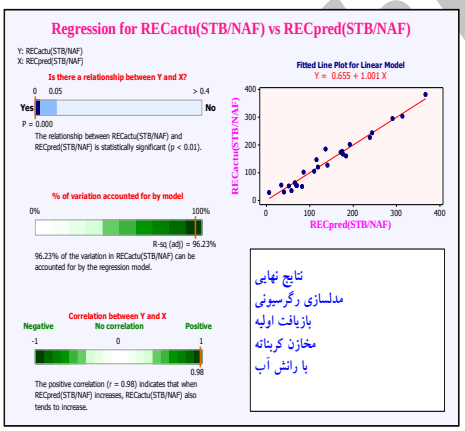
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	9	211435	23493	44.54	0.000
Residual Error	15	7911	527		
Total	24	219347			

Durbin-Watson statistic = 2.02057

شکل7- نمودار باقی مانده‌ها، مدل‌سازی حجم قابل استحصال



شکل8- نمودار نتایج نهایی، مدل‌سازی حجم قابل استحصال



هر دو شکل فوق بیانگر مناسب بودن مدل می‌باشند. معادلهٔ تجربی مربوط نیز به شرح زیر است:

$$RECpred\ (STB/NAF) = -184 + 0.291\ h - 0.391\ \sqrt{(k/\varphi)} + 39.3\ \mu oi - 63.5\ \mu ob + 140\ \ln(T) - 64.8\ \ln(Pi) + 68.5\ \ln(\mu ob) + 257\ \ln(Boa) + 0.402\ OOIPpred \quad (4)$$

برای این مدل‌سازی R^2_{adj} = 94/2٪ ، R^2_{pre} = 91/78٪ ، S = 22/96 (STB/NAF) و r = 0/98 است.

Archive of SID
www.SID.ir

تخمین و مدل‌سازی ضریب بازیافت مخازن کربناته:

رانش گاز محلول:

Regression Analysis: RFpred(%) versus Ln(OOIPpred); RECpred(STB/NAF)

The regression equation is:
RFpred(%) = 96.9 - 16.9 Ln(OOIPpred) + 0.316 RECpred(STB/NAF)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	96.854	9.078	10.67	0.000
Ln(OOIPpred)	-16.931	1.897	-8.92	0.000
RECpred(STB/NAF)	0.31562	0.04103	7.69	0.000

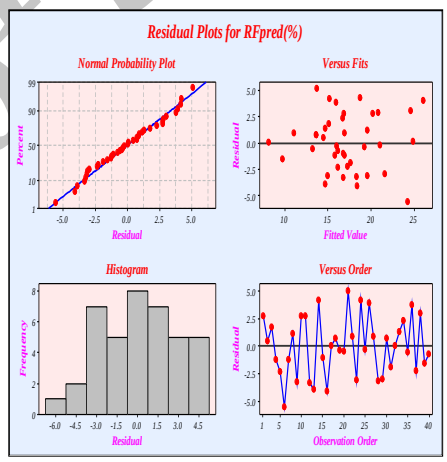
S = 2.71691 R-Sq = 68.3% R-Sq(adj) = 66.6%
PRESS = 324.012 R-Sq(pred) = 62.43% Cp = 3.0

Analysis of Variance:

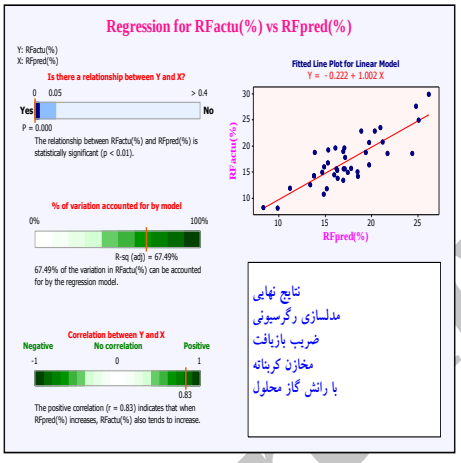
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	589.25	294.63	39.91	0.000
Residual Error	37	273.12	7.38		
Total	39	862.37			

Durbin-Watson statistic = 2.15658

شکل9- نمودار باقی مانده‌ها، مدل‌سازی ضریب بازیافت



شکل10- نمودار نتایج نهایی، مدل‌سازی ضریب بازیافت



نتایج دو نمودار فوق به لحاظ آماری راضی کننده هست. معادلهٔ تجربی حاصل از این مدلسازی چنین است:

$$RF_{pred}\ (\%) = 96.9 - 16.9 \ln(OOIP_{pred}) + 0.316\ REC_{pred} \qquad (5)$$

در این مدل‌سازی R^2_{adj} = 66/6٪ ، R^2_{pre} = 62/43٪ ، S = 2/72 (STB/NAF) و r = /83 می‌باشد.

رانش آب:

Regression Analysis: RFpred(%) versus sw(%); Pep(psi); ...

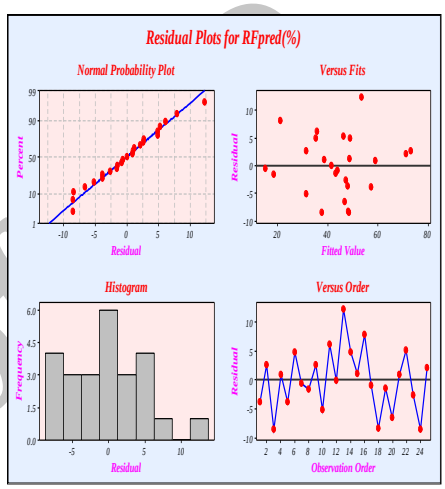
The regression equation is:
RFpred(%) = 184 + 47.6 sw(%) - 0.00399 Pep(psi) - 160 μw(cp) + 98.9 Ln(μw)
- 386 Ln(Boi) + 349 Ln(Bob) - 0.0634 OOIPpred(STB/NAF)
+ 0.225 RECpred(STB/NAF)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	184.44	30.89	5.97	0.000
sw(%)	47.62	15.34	3.10	0.007
Pep(psi)	-0.003989	0.001361	-2.93	0.010

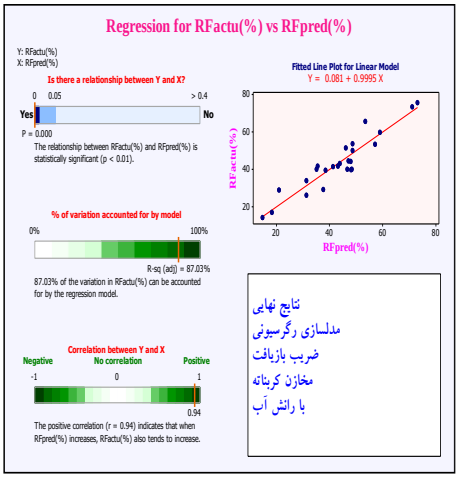
Archive of SID
www.SID.ir

```
μw(cp)                -159.87      34.25  -4.67  0.000
Ln(μw)                  98.94      23.35   4.24  0.001
Ln(Boi)               -386.21      81.99  -4.71  0.000
Ln(Bob)                349.00      81.67   4.27  0.001
OOIPpred(STB/NAF)   -0.063375   0.009548  -6.64  0.000
RECpred(STB/NAF)      0.22513    0.02759   8.16  0.000

S = 6.49930   R-Sq = 87.6%   R-Sq(adj) = 81.4%
PRESS = 1448.64   R-Sq(pred) = 73.36%   Cp = 9.0

Analysis of Variance:
Source           DF       SS       MS      F      P
Regression        8  4761.97   595.25  14.09  0.000
Residual Error   16   675.85    42.24
Total            24  5437.82

Durbin-Watson statistic = 2.05926
```

شکل11- نمودار باقی مانده‌ها، مدل‌سازی ضریب بازیافت



شکل12- نمودار نتایج نهایی، مدل‌سازی ضریب بازیافت



با توجه به شکل‌های 11 و 12، این بار هم نمودار باقی مانده‌ها و نتایج نهایی به لحاظ آماری مناسب می‌باشند.

معادلهٔ تجربی مربوط به ضریب بازیافت عبارت است از:

$$RFpred\ (\%) = 184 + 47.6\ Sw - 0.00399\ Pep - 160\ \mu w + 98.9\ \ln(\mu w) - 386\ \ln(Boi) + 349\ \ln(Bob) - 0.0634\ OOIPpred + 0.225\ RECpred \qquad (6)$$

برای این معادلهٔ تجربی R^2_{adj} = 81/4٪ ، R^2_{pre} = 73/36٪ ، S = 6/5 (STB/NAF) و r = 0/94 می‌باشد.

نتیجه‌گیری:

مخازن نفتی مملو از پیچیدگی و سرشار از نادانسته‌ها بوده و هر مخزن نیز از یک سری ویژگی‌های منحصر به فرد تشکیل شده است. روند برآورد ذخایر برای میادین هیدروکربوری در حال تولید، طی حیاتشان ادامه دارد؛ اما همواره در این تخمین عدم قطعیت وجود داشته و دارد. میزان این عدم قطعیت به عواملی چون نوع مخزن، منبع انرژی مخزن، کمیت و کیفیت داده‌های مربوط به خواص سنگ و سیال مخزن، فرضیات اعمال شده به هنگام برآورد، تکنولوژی موجود و در نهایت دقت و صحت تخمین‌گر مرتبط می‌شود. البته با گذشت زمان و سپری شدن عمر میدان، میزان عدم قطعیت کاهش یافته و برآورد ذخایر و ضریب بازیافت مخازن از دقت و صحت بیشتری برخوردار خواهد شد. نتیجهٔ مهم حاصل از این مطالعه، حضور پارامتر نفت درجا در تمامی معادلات تجربی مربوط به حجم نفت قابل بازیافت و نیز ضریب بازیافت مخازن می‌باشد. همچنین معادلات تجربی حاصل از این مطالعه حاکی از روند کاهشی دقت تخمین از حجم نفت درجا به حجم نفت قابل

Archive of SID

www.SID.ir

بازیافت و در نهایت ضریب بازیافت می‌باشد. قطعاً هیچ مدلی در دنیا وجود ندارد که کاملاً آیندهٔ مخزن را پیش‌بینی نماید؛ بلکه در عمل موقعی می‌توان به قطعیت مدل اطمینان کامل نمود که شناخت از مخزن به طور کامل انجام شده و عمر مخزن به پایان رسیده باشد. بنابراین، هیچ فرد یا گروهی نمی‌تواند بگوید که آنچه در مورد مخازن تخمین زده‌اند بدون خطا و کاملاً مطابق با واقعیت است.

مراجع:

[1] راضی پور، مجید، (1388)، "روند بررسی و برآورد ذخایر هیدروکربوری کشور در شرکت ملی نفت ایران"، شماره 57، مجله اکتشاف و تولید.

[2] ابریشمی، حمید و مجمدی، تیمور، (1374) . "کاربرد تحلیل رگرسیونی (ترجمه)" ، انتشارات دانشگاه تهران.

[3] Craft, B.C. and Hawkins, M.F., Jr , (1959), “Applied Petroleum Reservoir Engineering”. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.

[4] John O., Rawlings Sastry G., Pantula David A. Dickey,(1998), “Applied Regression Analysis: A Research Tool, Second Edition”. Department of Statistics North, Carolina State University, Raleigh, NC 27695 ,USA.

Archive of SID

www.SID.ir