



عملکرد چاه های گازی

برای تعیین ظرفیت جریان یک چاه گازی¹ باید رابطه‌ای میان دبی جریان گاز و فشار جریانی ته چاه ایجاد کرد. این رابطه را با حل معادله داری می‌توان به دست آورد. حل قانون داری به شرایط جریان موجود در مخزن و یا رژیم جریان بستگی دارد. زمانی که یک چاه گازی بعد از مدتی انسداد در مدار تولید گذاشته می‌شود، جریان گاز در مخزن، تا رسیدن افت فشار به مرز ناحیه زهکشی چاه، رفتار حالت ناپایدار را دنبال خواهد کرد. بعد از این مرحله رفتار جریان دوره کوتاهی از انتقال را پشت سر می‌گذارد و وارد دوره حالت پایدار یا دوره حالت شبه پایدار می‌شود. هدف این فصل توصیف تجربی و تحلیلی عملکرد جریان در شرایط جریان حالت شبه پایدار است.

1- Gas Well

عملکرد چاه گازی عمودی^۱

حل کامل معادله دیفرانسیل داری برای سیالات تراکم‌پذیر در شرایط جریان حالت شبه پایدار قبلاً با معادله (۶-۱۵۰) ارائه شده است:

$$Q_g = \frac{kh[\bar{\psi}_r - \psi_{wf}]}{1422T \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s \right]} \quad (1-8)$$

Q_g دبی جریان گاز، $Mscf/day$ ؛

k نفوذپذیری، mD ؛

$\bar{\psi}_r$ متوسط شبه فشار گاز واقعی مخزن، psi^2/cp ؛

T دما، $^{\circ}R$ ؛

S ضریب پوسته؛

h ضخامت؛

r_e شعاع ناحیه زهکشی؛

r_w شعاع چاه .

شاخص بهره‌دهی J^2 برای یک چاه گازی مشابه چاه نفتی است:

$$J = \frac{Q_g}{\bar{\psi}_r - \psi_{wf}} = \frac{kh}{1422T \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s \right]} \quad (2-8)$$

یا:

$$Q_g = J(\bar{\psi}_r - \psi_{wf}) \quad (3-8)$$

1- Vertical Gas Well Performance

2- Productivity Index

پتانسیل جریان کاملاً باز (AOF) یا حداکثر دبی جریان گاز $(Q_g)_{max}$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$(Q_g)_{max} = J\bar{\psi}_r \tag{۴-۸}$$

J شاخص بهره دهی، $Mscf/day/psi^2/cp$ ؛

$$(Q_g)_{max} = AOF$$

معادله (۳-۸) به صورت یک رابطه خطی نیز نمایش داده می شود:

$$\psi_{wf} = \bar{\psi}_r - \left(\frac{1}{J}\right)Q_g \tag{۵-۸}$$

این معادله نشان می دهد که ترسیم ψ_{wf} نسبت به Q_g خطی راست با شیب $(1/J)$ و عرض از مبدأ $\bar{\psi}_r$ را شکل می دهد (شکل ۱-۸). اگر دو دبی جریان تثبیت شده متفاوت موجود باشند، می توان این خط را برونیابی کرد و با شیب آن مقادیر J, AOF و $\bar{\psi}_r$ را تخمین زد.

می توان معادله (۱-۸) را به شکل یک تابع انتگرالی نیز نشان داد:

$$Q_g = \frac{kh}{1422T \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s \right]} \int_{p_{wf}}^{p_r} \left(\frac{2p}{\mu_g z} \right) dp \tag{۶-۸}$$

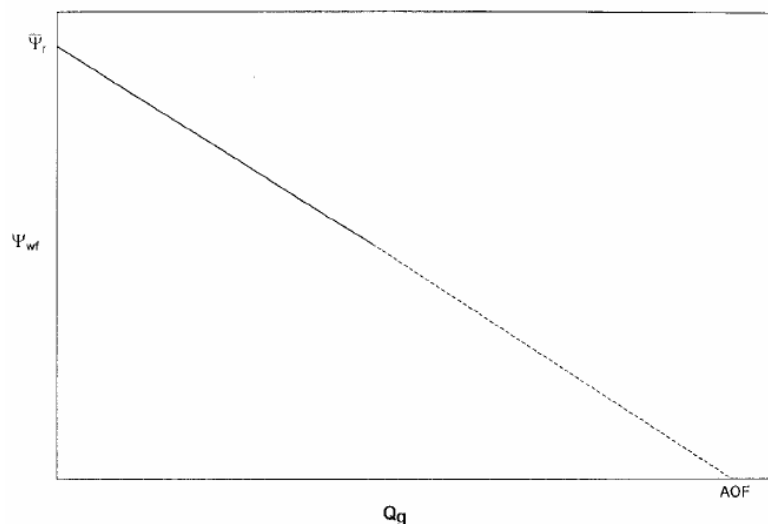
$(p/\mu_g z)$ مستقیماً متناسب با $(1/\mu_g B_g)$ است. B_g ضریب حجم سازند گاز است و به صورت زیر تعریف می شود:

$$B_g = 0.00504 \frac{zT}{p} \tag{۷-۸}$$

B_g ضریب حجمی گاز، bbl/scf ؛

z ضریب تراکم‌پذیری گاز؛

T دما، $^{\circ}R$.



شکل ۱-۸: جریان حالت پایدار در چاه گازی

می‌توان معادله (۶-۸) را به صورت تابعی از B_g نوشت:

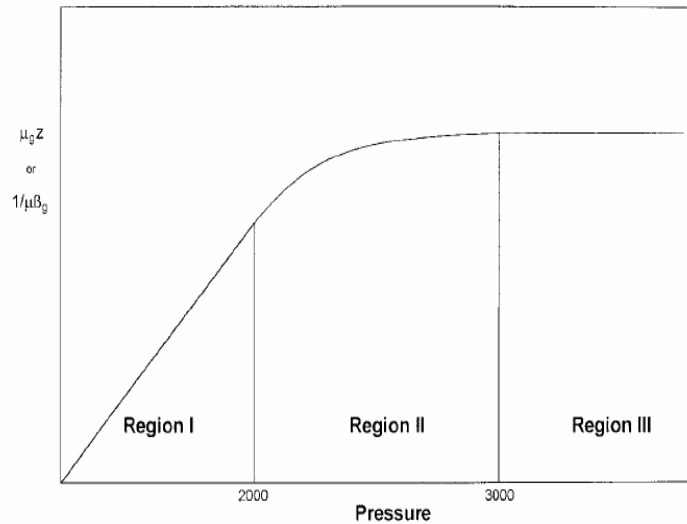
$$Q_g = \frac{7.08 \times 10^{-6} kh}{\left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s \right]} \int_{p_{wf}}^{\bar{p}_r} \left(\frac{1}{\mu_g B_g} \right) dp \quad (۸-۸)$$

Q_g دبی جریان گاز، $Mscf/day$ ؛

μ_g ویسکوزیته گاز، cp ؛

k نفوذپذیری، mD .

شکل ۲-۸ نمودار معرفی از توابع فشاری گاز $2p/\mu_g z$ و $1/\mu_g B_g$ را بر حسب فشار نشان می‌دهد. انتگرال موجود در معادلات (۶-۸) و (۸-۸) معرف ناحیه زیر منحنی بین \bar{p}_r و p_{wf} است.



شکل ۲-۸: داده های PVT گاز

تابع فشار سه ناحیه مشخص کاربردی را نشان می دهد (شکل ۲-۸):

ناحیه III: ناحیه پرفشار^۱

زمانی که هر دو فشار p_{wf} و \bar{p}_r بالاتر از 3000 psi باشند، توابع فشار $2p/\mu_g z$ و $1/\mu_g B_g$ تقریباً ثابت اند؛ یعنی ترم فشار $1/\mu_g B_g$ در معادله (۸-۸) را می توان به صورت یک ثابت در نظر گرفت و به خارج از انتگرال انتقال داد. با این کار معادله (۸-۶) دوباره نویسی می شود:

$$Q_g = \frac{7.08 \times 10^{-6} kh(\bar{p}_r - p_{wf})}{(\mu_g B_g)_{avg} \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s \right]} \quad (9-8)$$

Q_g دبی جریان گاز، $Mscf/day$ ؛

B_g ضریب حجمی سازند گاز، bbl/scf ؛

k نفوذ پذیری، mD .

1- High Pressure Region

ویسکوزیته گاز μ_g و ضریب حجمی سازند گاز B_g در فشار متوسط مخزن p_{avg} ارزیابی می‌شوند. این فشار به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$p_{avg} = \frac{\bar{p}_r + p_{wf}}{2} \quad (10-8)$$

روش تعیین دبی جریان گاز با معادله (۸-۹) معمولاً روش تقریب فشار نامیده می‌شود. مفهوم شاخص بهره‌دهی J را نمی‌توان در معادله (۸-۹) گذاشت زیرا این معادله تنها وقتی هر دو فشار p_{wf} و \bar{p}_r بالای 3000 psi باشند کاربرد دارد.

ناحیه II: ناحیه فشار متوسط^۲

بین فشارهای 2000 و 3000 psi ، تابع فشار یک انحنای مشخص را نشان می‌دهد. زمانی که فشار جریانی ته چاه و فشار متوسط مخزن هر دو بین 2000 و 3000 psi باشند، از رویه فشار گاز شبه فشار معادله (۸-۱) باید برای محاسبه دبی جریان گاز استفاده کرد.

ناحیه I: ناحیه کم فشار^۳

در فشارهای پایین، معمولاً کمتر از 2000 psi ، توابع فشار $2p/\mu_g z$ و $1/\mu_g B_g$ رابطه‌ای خطی با فشار از خود نشان می‌دهند. گلان و ویتسون^۴ نشان داده‌اند که حاصل ضرب $\mu_g z$ در زمان ارزیابی در هر فشار زیر 2000 psi حتماً ثابت است. با اعمال این مطلب در معادله (۸-۶) و انتگرال‌گیری از آن:

$$Q_g = \frac{kh(\bar{p}_r^2 - p_{wf}^2)}{1422T(\mu_g z)_{avg} \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s \right]} \quad (11-8)$$

Q_g دبی جریان گاز، Mscf/day ؛

k نفوذ پذیری، mD ؛

-
- 1- Reservoir Average Pressure
 - 2- Intermediate Pressure Region
 - 3- Low Pressure Region
 - 4- Golan-Whitson

T دما، R ؛

z ضریب تراکم پذیری گاز؛

μ_g ویسکوزیته گاز، cp .

توصیه شده است که مقادیر ضریب z و ویسکوزیته گاز در فشار متوسط p_{avg}

ارزیابی شوند:

$$p_{avg} = \sqrt{\frac{p_r^2 + p_{wf}^2}{2}}$$

روش محاسبه دبی جریان با معادله (۱۱-۸) اصطلاحاً تقریب مربع فشار^۱ نامیده

می شود. اگر هر دو فشار \bar{p}_r و p_{wf} کمتر از 2000 psi باشند، می توان معادله

(۱۱-۸) را به صورت تابعی از شاخص بهره دهی J نوشت:

$$Q_g = J(p_r^2 - p_{wf}^2) \quad (12-8)$$

$$(Q_g)_{\max} = AOF = J\bar{p}_r^2 \quad (13-8)$$

در این صورت:

$$J = \frac{kh}{1422T(\mu_g z)_{avg} \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s \right]} \quad (14-8)$$

مثال ۱-۸

خواص PVT یک نمونه گازی گرفته شده از یک مخزن گاز خشک در جدول

زیر داده شده اند:

این مخزن در شرایط حالت شبه پایدار تولید می کند. اطلاعات اضافی زیر نیز

موجوداند:

$$k = 65mD \quad h = 15ft \quad T = 600^\circ R$$

$$r_e = 1000ft \quad r_w = 0.25ft \quad s = -0.4$$

p, psi	μ_g , cp	Z	ψ , psi ² /cp	B_g , bbl/scf
0	0.01270	1.000	0	—
400	0.01286	0.937	13.2×10^6	0.007080
1200	0.01530	0.832	113.1×10^6	0.00210
1600	0.01680	0.794	198.0×10^6	0.00150
2000	0.01840	0.770	304.0×10^6	0.00116
3200	0.02340	0.797	678.0×10^6	0.00075
3600	0.02500	0.827	816.0×10^6	0.000695
4000	0.02660	0.860	950.0×10^6	0.000650

دبی جریان گاز را در شرایط زیر محاسبه کنید:

الف) $p_{wf} = 3200 psi$ و $\bar{p}_r = 4000 psi$

ب) $p_{wf} = 1200 psi$ و $\bar{p}_r = 2000 psi$

از روش‌های تقریب استفاده و نتایج را با روش حل دقیق مقایسه کنید.

جواب

الف) محاسبه Q_g در $p_{wf} = 3200 psi$ و $\bar{p}_r = 4000 psi$

مرحله اول: روش تقریب مناسب را انتخاب کنید. \bar{p}_r و p_{wf} هر دو بالای

$3000 psi$ هستند پس باید از روش تقریب فشار (معادله ۸-۹)، استفاده کرد.

مرحله دوم: میانگین فشار مخزن را محاسبه کنید و خواص گاز مربوطه را به دست آورید.

$$\bar{p} = \frac{4000 + 3200}{2} = 3600 psi$$

$$\mu_g = 0.025$$

$$B_g = 0.000695$$

مرحله سوم: محاسبه دبی جریان گاز با معادله (۸-۹):

$$Q_g = \frac{7.08 \times 10^{-6} (65)(15)(4000 - 3200)}{(0.025)(0.000695) \left[\ln\left(\frac{1000}{0.25}\right) - 0.75 - 0.4 \right]} = 44,490 Mscf/day$$

مرحله چهارم: محاسبه مجدد Q_g ، با معادله شبه فشار (معادله (۸-۱)):

$$Q_g = \frac{(65)(15)[950.0 - 678.0]10^6}{1422(600) \left[\ln\left(\frac{1000}{0.25}\right) - 0.75 - 0.4 \right]} = 43,509 \text{ Mscf/day}$$

ب) محاسبه Q_g در $\bar{p}_r = 2000 \text{ psi}$ و $p_{wf} = 1200 \text{ psi}$
 مرحله اول: روش تقریب مناسب را انتخاب کنید. چون \bar{p}_r و p_{wf} هر دو از 2000 psi کمتراند، از روش تقریب مربع فشار استفاده می شود.
 مرحله دوم: محاسبه میانگین فشار و به دست آوردن مقادیر μ_g و z :

$$\bar{p} = \sqrt{\frac{2000^2 + 1200^2}{2}} = 1649 \text{ psi}$$

$$\mu_g = 0.017$$

$$z = 0.791$$

مرحله سوم: محاسبه Q_g با معادله مربع فشار (معادله (۸-۱)):

$$Q_g = \frac{(65)(15)(2000^2 - 1200^2)}{1422(600)(0.017)(0.791) \left[\ln\left(\frac{1000}{0.25}\right) - 0.75 - 0.4 \right]} = 30,453 \text{ Mscf/day}$$

مرحله چهارم: مقایسه Q_g با مقدار دقیق معادله (۸-۱):

$$Q_g = \frac{(65)(15)[304.0 - 113.1]10^6}{1422(600) \left[\ln\left(\frac{1000}{0.25}\right) - 0.75 - 0.4 \right]} = 30,536 \text{ Mscf/day}$$

همه فرمول های ارائه شده تا این جا بر این فرض استوار بودند که شرایط جریان آرام (گرانرو) در حین جریان گاز برقراراند. در طول جریان شعاعی، سرعت جریان با

نزدیک شدن به چاه افزایش می‌یابد. این افزایش سرعت گاز ممکن است باعث گسترش جریانی آشفته در اطراف چاه شود. جریان آشفته در اطراف چاه باعث ایجاد افت فشاری مشابه با افت فشار حاصل از اثر پوسته مکانیکی در اطراف چاه می‌شود. در فصل ششم با معادلات (۶-۱۶۴) تا (۶-۱۶۶) توضیح داده شد که معادله جریان حالت شبه پایدار (نیمه پایدار) برای سیالات تراکم پذیر را می‌توان برای محاسبه افت فشار ناشی از آشفته‌گی جریان با احتساب ضریب پوسته وابسته به دبی DQ_g اصلاح کرد.

معادلات حالت شبه پایدار در سه حالت زیر به دست آمده‌اند:

حالت اول: حالت تقریب مربع فشار^۱

$$Q_g = \frac{kh(p_r^2 - p_{wf}^2)}{1422T(\mu_g z)_{avg} \left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0.75 + s + DQ_g \right]} \quad (15-8)$$

D ضریب اینرسی یا ضریب جریان آشفته^۲ نامیده و، همان‌طور که قبلاً نیز در معادله (۶-۱۶۰) نشان داده شد، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D = \frac{Fkh}{1422T} \quad (16-8)$$

ضریب جریان غیرداریسی^۳ F نیز قبلاً با معادله (۶-۱۵۶) تعریف شده است:

$$F = 3.161 \times 10^{-12} \left[\frac{\beta T \gamma_g}{\mu_g h^2 r_w} \right] \quad (17-8)$$

F ضریب جریان غیر داریسی؛

k نفوذپذیری، mD ؛

1- Pressure Squared Approximation Form

2- Inertial or Turbulent Flow Factor

3- Non-Darcy Flow Coefficient

T دما، R ؛

γ_g گراویتی گاز؛

r_w شعاع چاه، ft ؛

h ضخامت، ft ؛

β پارامتر آشفته‌گی که قبلاً در معادله (۶-۱۵۷) تعریف شده است:

$$\beta = 1.88 \times 10^{-10} k^{-1.47} \phi^{-0.53}$$

حالت دوم: حالت تقریب فشار^۱

$$Q_g = \frac{7.08 \times 10^{-6} kh(\bar{p}_r - p_{wf})}{(\mu_g B_g)_{avg} \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) - 0.75 + s + DQ_g \right]} \quad (18-8)$$

حالت سوم: حالت پتانسیل گاز واقعی (شبه فشار)^۲

$$Q_g = \frac{kh[\bar{\psi}_r - \psi_{wf}]}{1422T \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) - 0.75 + s + DQ_g \right]} \quad (19-8)$$

معادلات (۸-۱۵)، (۸-۱۸) و (۸-۱۹) روابطی درجه دوم در Q_g هستند و بنابراین عبارات صریحی را برای محاسبه دبی جریان گاز نشان نمی‌دهند. دو رویه تجربی جداگانه برای نمایش مسائل جریان آشفته در چاه‌های گازی وجود دارند که هر دو روش، با درجات متفاوتی از تقریب، مستقیماً از سه شکل معادلات حالت شبه پایدار مشتق و فرمولبندی می‌شوند (معادلات (۸-۱۵) تا (۸-۱۷)). این دو رویه عبارت‌اند از:

- رویه عملیات ساده شده^۱؛

1- Pressure Approximation Form

2- Real Gas Potential (Pseudo-pressure) Form

- روش عملکرد آرام - اینرسی - آشفته (LIT)^۲.

رویه عملیات ساده شده

رولینز و شلهارت^۳ بر اساس تحلیل اطلاعات جریان تعداد زیادی چاه گازی ادعا کرده‌اند که می‌توان رابطه دبی جریان گاز و فشار را بیان کرد:

$$Q_g = C(p_r^{-2} - p_{wf}^2)^n \quad (۲۰-۸)$$

Q_g دبی جریان گاز، $Mscf/day$ ؛

\bar{p}_r میانگین فشار مخزن، psi ؛

n توان؛

C ضریب عملکرد، $Mscf/day/psi^2$.

توان n برای تعمیم افت فشار اضافی ناشی از جریان گاز سرعت بالا در معادله وارد شده است. بسته به شرایط جریان، توان n از یک (برای جریان کاملاً آرام) تا 0.5 (برای جریان کاملاً آشفته) تغییر می‌کند. ضریب عملکرد^۴ C در معادله (۲۰-۸) برای اعمال خواص زیر در معادله گذاشته شده است:

- خواص سنگ مخزن؛
- خواص سیال؛
- هندسه جریان مخزن.

معمولاً معادله (۲۰-۸) را معادله قابلیت دهش^۵ یا معادله فشار بازگشتی^۶ می‌نامند.

اگر بتوان ضریب معادله (C و n) را تعیین کرد، دبی جریان گاز Q_g را در هر فشار جریان ته چاه p_{wf} می‌توان محاسبه و منحنی IPR را رسم کرد.

با لگاریتم گرفتن از هر دو طرف معادله (۲۰-۸):

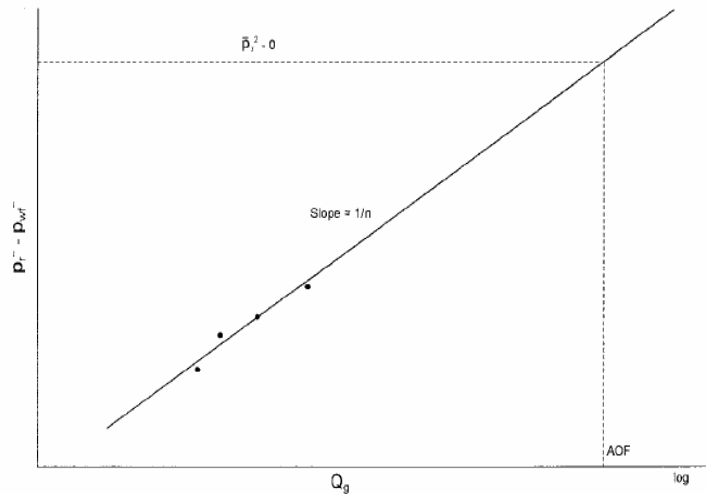
- 1- Simplified Treatment Approach
- 2- Laminar-Inertial-Turbulent (LIT) Treatment
- 3- Rawlins and Schellhardt
- 4- Performance Coefficient
- 5- Deliverability
- 6- Back-Pressure Equation

$$\log(Q_g) = \log(C) + n \log(p_r^{-2} - p_{wf}^2) \tag{۲۱-۸}$$

این معادله پیشنهاد می کند که نتیجه نمودار Q_g بر حسب $p_r^{-2} - p_{wf}^2$ در مقیاس $\log - \log$ خطی راست با شیب n است. در صنعت گاز طبیعی معمولاً $p_r^{-2} - p_{wf}^2$ را بر حسب Q_g در مقیاس $\log - \log$ رسم می کنند که در این صورت شیب خط $1/n$ است (شکل ۳-۸). این نمودار معمولاً گراف قابلیت دهش یا نمودار فشار بازگشتی نامیده می شود.

توان قابلیت دهش n را می توان با هر دو نقطه انتخابی روی این خط راست تعیین کرد. مثلاً با استفاده از دو نقطه $(Q_{g1}, \Delta p_1^2)$ و $(Q_{g2}, \Delta p_2^2)$:

$$n = \frac{\log(Q_{g1}) - \log(Q_{g2})}{\log(\Delta p_1^2) - \log(\Delta p_2^2)} \tag{۲۲-۸}$$



شکل ۳-۸: گراف قابلیت دهش چاه

با معلوم شدن n ، می‌توان از هر دو نقطه‌ای روی این خط راست برای محاسبه ضریب عملکرد C استفاده کرد:

$$C = \frac{Q_g}{\left(\frac{-2}{p_r - p_{wf}}\right)^n} \quad (23-8)$$

ضرایب معادله فشار بازگشتی یا هر معادله تجربی دیگر به صورت متعارف با تحلیل داده‌های آزمایش‌های فشار چاه‌های گازی تعیین می‌شوند. آزمون قابلیت دهش بیش از شصت سال است که در صنعت نفت برای تشخیص و تعیین پتانسیل جریان چاه‌های گازی استفاده می‌شود. سه نوع عمده از آزمون‌های قابلیت دهش در صنعت وجود دارند:

- آزمون‌های متعارف قابلیت دهش (آزمون فشار بازگشتی)؛
- آزمون متوازن؛
- آزمون متوازن اصلاح شده^۱.

این آزمون‌ها اصولاً شامل جریان دادن چاه‌ها با چندین دبی مختلف و اندازه‌گیری فشار جریانی ته چاه به صورت تابعی از زمان‌اند. زمانی که داده‌های ثبت شده به صورت قابل قبولی تحلیل شده باشند، تعیین پتانسیل جریان ممکن می‌شود و روابط عملکرد جریان چاه گازی نیز به دست می‌آیند. برای ارائه تکنیک‌های مهم تحلیل داده‌های آزمون قابلیت دهش در ادامه همین فصل این آزمون بیشتر بررسی خواهد شد.

-
- 1- Isochronal Test
 - 2- Modified Isochronal Test

روش عملکرد آرام - اینرسی - آشفته

سه حالت معادله حالت شبه پایدار را با معادلات (۸-۱۵)، (۸-۱۸) و (۸-۱۹) می توان دوباره به شکل های درجه دوم برای تفکیک ترم های آرام و اینرسی - آشفته تشکیل دهنده این معادلات آرایش کرد:

الف) حالت درجه دوم مربع فشار^۱

می توان معادله (۸-۱۵) را به شکل ساده تری نشان داد:

$$p_r^{-2} - p_{wf}^2 = aQ_g + bQ_g^2 \quad (24-8)$$

$$a = \left(\frac{1422T\mu_g z}{kh} \right) \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) - 0.75 + s \right] \quad (25-8)$$

$$b = \left(\frac{1422T\mu_g z}{kh} \right) D \quad (26-8)$$

a ضریب جریان آرام؛

b ضریب جریان اینرسی - آشفته؛

Q_g دبی جریان گاز، $Mscf/day$ ؛

z ضریب انحراف گاز؛

kD نفوذ پذیری، mD ؛

μ_g ویسکوزیته گاز، cp .

ترم aQ_g در معادله (۸-۲۶) افت مربع فشار ناشی از جریان آرام را نشان می دهد در حالی که bQ_g^2 افت مربع فشار ناشی از اثرات جریان اینرسی - آشفته است. می توان معادله (۸-۲۴) را با تقسیم طرفین معادله بر Q_g به معادله ای خطی تبدیل کرد:

$$\frac{p_r^2 - p_{wf}^2}{Q_g} = a + bQ_g \quad (27-8)$$

ضرایب a و b با رسم $\frac{p_r^2 - p_{wf}^2}{Q_g}$ بر حسب Q_g در مقیاس کارتیزین به دست می‌آیند. با رسم این نمودار، خطی راست با شیب b و عرض از مبدأ a به دست می‌آید. در ادامه خواهیم دید که داده‌های آزمون‌های قابلیت دهش برای تشکیل یک رابطه خطی استفاده می‌شوند (شکل ۸-۴).

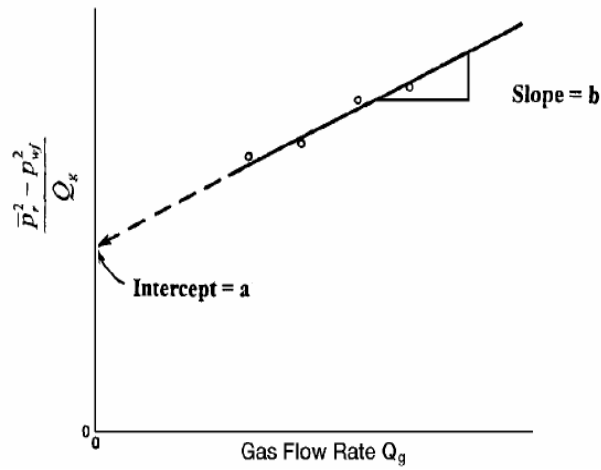
با معلوم شدن مقادیر a و b ، معادله جریان درجه دوم (معادله ۸-۲۴)، نسبت به Q_g به ازای هر p_{wf} ، با معادله زیر حل می‌شود:

$$Q_g = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4b(p_r^2 - p_{wf}^2)}}{2b} \quad (28-8)$$

همچنین با فرض مقادیر مختلف p_{wf} و محاسبه Q_g مربوطه با معادله (۸-۲۸)، IRP کنونی چاه گازی در فشار کنونی مخزن \bar{p}_r به دست می‌آید. فرضیات زیر در ارائه معادله (۸-۲۴) مد نظر بوده‌اند:

- جریان تک فازی در مخزن؛
- سیستم مخزنی همگن و ایزوتروپ؛
- وابستگی نفوذپذیری به فشار؛
- ثابت بودن مقدار حاصل ضرب ضریب تراکم پذیری گاز و ویسکوزیته.

این روش برای فشارهای زیر 2000 psi پیشنهاد می‌شود.



شکل ۴-۸: گراف داده های مربع فشار

ب) حالت درجه دوم فشار^۱

می توان معادله تقریب فشار (معادله ۸-۱۸) را دوباره آرایش کرد و به شکل

درجه دوم زیر نمایش داد:

$$\bar{p}_r - p_{wf} = a_1 Q_g + b_1 Q_g^2 \quad (29-8)$$

$$a_1 = \frac{141.2 \times 10^{-3} (\mu_g B_g)}{kh} \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) - 0.75 + s \right] \quad (30-8)$$

$$b_1 = \left[\frac{141.2 \times 10^{-3} (\mu_g B_g)}{kh} \right] D \quad (31-8)$$

ترم $a_1 Q_g$ معرف افت فشار ناشی از جریان خطی و $b_1 Q_g^2$ معرف افت فشار اضافی ناشی از شرایط جریان آشفته است. در شکل خطی، معادله (۸-۱۷) به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$\frac{\bar{p}_r - p_{wf}}{Q_g} = a_1 + b_1 Q_g \quad (۳۲-۸)$$

ضریب جریان آرام a_1 و ضریب جریان اینرسی - آشفته b_1 با نمودار خطی معادله بالا به دست می‌آیند (شکل ۸-۵).

با معلوم بودن ضرایب a_1 و b_1 ، دبی جریان گاز را در هر فشاری می‌توان محاسبه کرد:

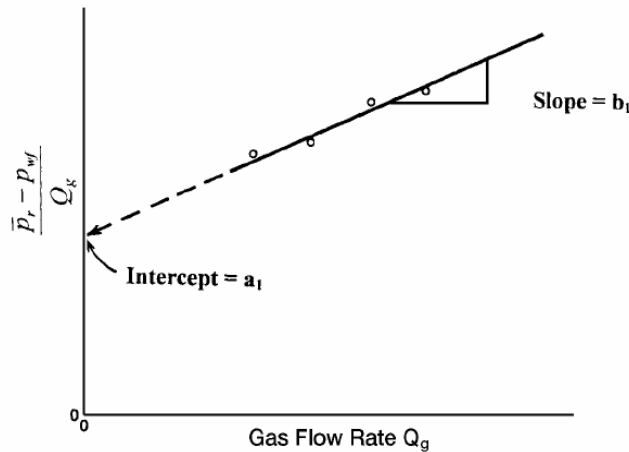
$$Q_g = \frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 + 4b_1(\bar{p}_r - p_{wf})}}{2b_1} \quad (۳۳-۸)$$

دسته‌ای از فرضیات گفته شده برای روش مربع فشار کاربرد معادله (۸-۲۹) را محدود می‌کنند. به هر حال از روش فشار در فشارهای بالاتر از 3000 psi می‌توان استفاده کرد.

ج) رویکرد درجه دوم شبه فشار^۱

می‌توان معادله (۸-۱۹) را به صورت زیر نیز نوشت:

$$\bar{\psi}_r - \psi_{wf} = a_2 Q_g + b_2 Q_g^2 \quad (34-8)$$



شکل ۵-۸: گراف داده‌های روش فشار

$$a_2 = \left(\frac{1422}{kh} \right) \left[\ln \left(\frac{r_e}{r_w} \right) - 0.75 + s \right] \quad (35-8)$$

$$b_2 = \left(\frac{1422}{kh} \right) D \quad (36-8)$$

ترم $a_2 Q_g$ در معادله (۲۴-۸) معرف افت شبه فشار ناشی از جریان آرام و ترم $b_2 Q_g^2$ معرف افت شبه فشار ناشی از اثرات جریان اینرسی - آشفته است.

معادله (۳۴-۸) با تقسیم طرفین معادله بر Q_g به یک معادله خطی تبدیل می‌شود:

$$\frac{\bar{\psi}_r - \psi_{wf}}{Q_g} = a_2 + b_2 Q_g \quad (37-8)$$

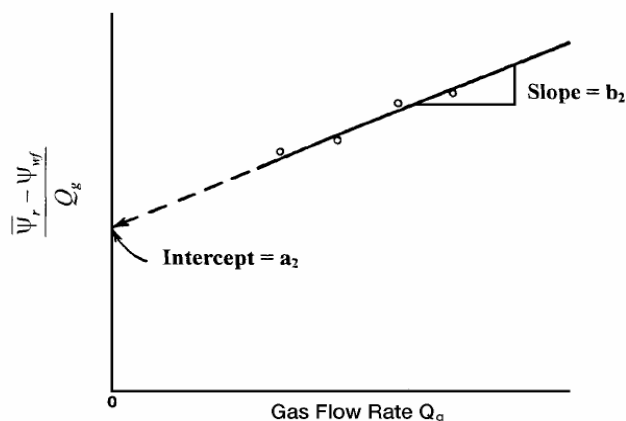
رسم نمودار $\frac{\bar{\psi}_r - \psi_{wf}}{Q_g}$ نسبت به Q_g در مقیاس کارتزین خطی راست را با شیب

b_2 و عرض از مبدأ a_2 نتیجه می‌دهد (شکل ۵-۸).

با معلوم بودن a_2 و b_2 ، دبی جریان گاز در هر p_{wf} با رابطه زیر به دست می آید:

$$Q_g = \frac{-a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4b_2(\bar{\psi}_r - \psi_{wf})}}{2b_2} \quad (388)$$

کاربرد رویکرد شبه فشار از دو روش بالا بیشتر است و از آن در همه حوضه‌های فشاری می توان استفاده کرد.



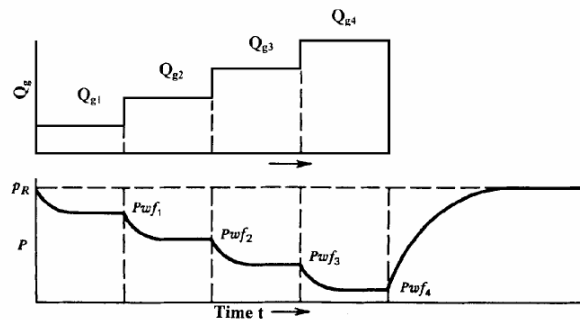
شکل ۶-۸: گراف داده های شبه فشار گاز واقعی

آزمایش فشار بازگشتی

رولینز و شلهارت روشی را برای آزمایش کردن چاههای گازی با اندازه‌گیری توانایی چاه به جریان دادن سیال در مقابل فشارهای بازگشتی ارائه داده‌اند که معمولاً آزمایش متعارف قابلیت دهش نامیده می‌شود. فرایند اجرای این آزمایش شامل مراحل زیر است:

مرحله اول: بستن چاه گازی برای مدتی نسبتاً طولانی برای به تعادل رسیدن فشار سازند در فشار حجمی متوسط مخزن \bar{p}_r ؛

مرحله دوم: تولید از چاه با یک دبی ثابت جریان Q_{g1} برای زمانی کافی تا فشار جریانی ته چاه در p_{wf} تثبیت شود (به حالت شبه پایدار برسد)؛
 مرحله سوم: تکرار مرحله دوم با چندین دبی مختلف و ثبت کردن فشار جریانی تثبیت شده ته چاه مرتبط با هر دبی جریان. اگر در این آزمون از سه یا چهار دبی مختلف جریان استفاده شود، آزمون جریان سه نقطه یا چهار نقطه ای^۱ نامیده می شود.
 تاریخچه دبی جریان و فشار یک آزمون چهار نقطه ای در شکل ۷-۸ داده شده است. این شکل توالی نرمال تغییرات دبی را در این گونه آزمایش ها نمایش می دهد. دبی جریان هر مرحله از مرحله قبل بیشتر است. تجربه نشان داده که توالی نرمال دبی جریان داده های بهتری را در اکثر چاهها نتیجه داده است.



شکل ۷-۸: آزمایش متعارف فشار بازگشتی

مهمترین عامل در اجرای یک آزمایش متعارف قابلیت دهش طول دوره های جریان است. هر دبی جریان باید تا اندازه ای نگه داشته شود که چاه به ثبات برسد (به حالت شبه پایدار برسد). زمان لازم برای به ثبات رسیدن چاهی در مرکز یک ناحیه زهکشی دایره ای یا مربعی را می توان با رابطه زیر تخمین زد:

$$t_s = \frac{1200\phi S_g \mu_g r_e^2}{k p} \quad (39-8)$$

t_s زمان ثبات، hr ؛

ϕ تخلخل؛

μ_g ویسکوزیته گاز، cp ؛

S_g درجه اشباع گاز؛

k نفوذپذیری مؤثر گاز، mD ؛

\bar{p}_r فشار متوسط مخزن، psi ؛

r_e شعاع ناحیه زهکشی، ft .

کاربرد داده‌های آزمون فشار بازگشتی برای تعیین ضرایب همه معادلات تجربی جریان در مثال زیر نمایش داده شده است.

مثال ۲-۸

یک چاه گازی با آزمون متعارف قابلیت دهش سه نقطه‌ای آزمایش شده است. داده‌های ثبت شده در این آزمون عبارت‌اند از:

p_{wf} , psia	ψ_{wf} , psi ² /cp	Q_g , Mscf/day
$\bar{p}_r = 1952$	316×10^6	0
1700	245×10^6	2624.6
1500	191×10^6	4154.7
1300	141×10^6	5425.1

شکل ۸-۸ شبه فشار گاز ψ را به صورت تابعی از فشار نشان می‌دهد. IPR

کنونی این مخزن را با روش‌های زیر به دست آورید:

الف) عملیات ساده شده؛

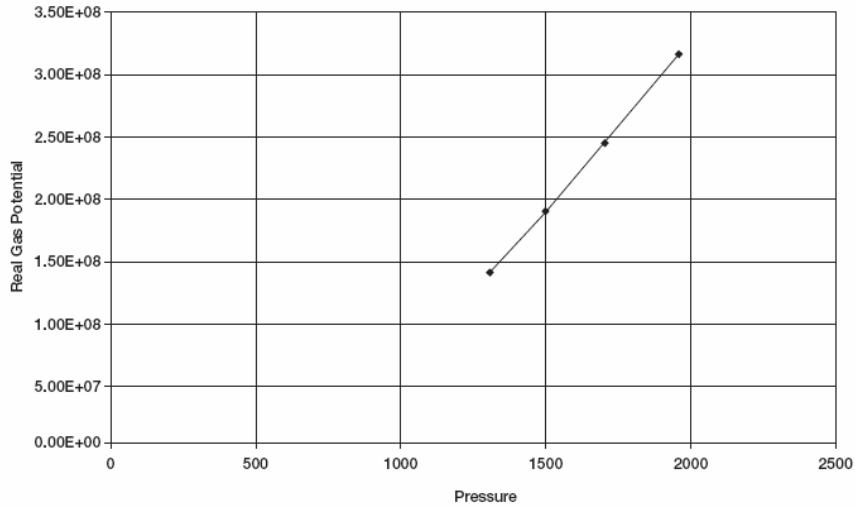
ب) عملکرد آرام - اینرسی - آشفته (LIT)؛

i. مربع فشار (معادله ۸-۲۹)؛

ii. رویکرد فشار (معادله ۸-۳۳)؛

iii. رویکرد شبه فشار (معادله ۸-۲۶).

ج) نتایج با هم مقایسه کنید.



شکل ۸-۸: پتانسیل گاز واقعی بر حسب فشار

جواب

الف) معادله فشار بازگشتی

مرحله اول: تشکیل جدول زیر:

P_{wf}	$p_{wf}^2, \text{psi}^2 \times 10^3$	$(\bar{p}_r^2 - p_{wf}^2), \text{psi}^2 \times 10^3$	$Q_g, \text{Mscf/day}$
$\bar{p}_r = 1952$	3810	0	0
1700	2890	920	2624.6
1500	2250	1560	4154.7
1300	1690	2120	5425.1

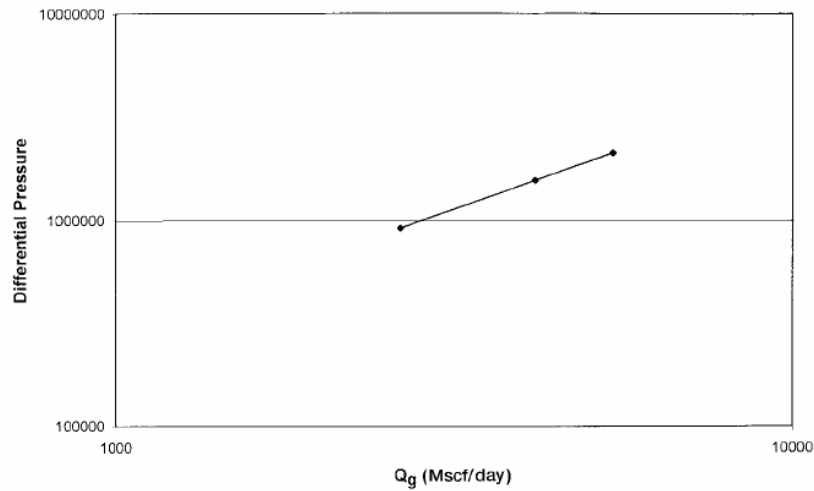
مرحله دوم: رسم منحنی $(\bar{p}_r^2 - p_{wf}^2)$ بر حسب Q_g در مقیاس $\log - \log$ (شکل ۸-۹) و ترسیم بهترین خط گذرا از بین نقاط.

مرحله سوم: استفاده از دو نقطه دلخواه روی این خط راست و محاسبه توان n با معادله (۸-۲۲):

$$n = \frac{\log(4000) - \log(800)}{\log(1500) - \log(600)} = 0.87$$

مرحله چهارم: تعیین ضریب عملکرد C با معادله (۸-۲۳) (می توان از مختصات هر نقطه روی این خط راست استفاده کرد):

$$C = \frac{1800}{(600000)^{0.87}} = 0.0169 \text{ Mscf} / \text{psi}^2$$



شکل ۹-۸: منحنی فشار بازگشتی

مرحله پنجم: حل معادله فشار بازگشتی:

$$Q_g = 0.0169(3,810,000 - p_{wf}^2)^{0.87}$$

مرحله ششم: به دست آوردن داده‌های *IPR* با فرض مقادیر مختلف و محاسبه Q_g های مربوطه:

p_{wf}	$Q_g, \text{Mscf/day}$
1952	0
1800	1720
1600	3406
1000	6891
500	8465
0	8980 = AOF = $(Q_g)_{\max}$

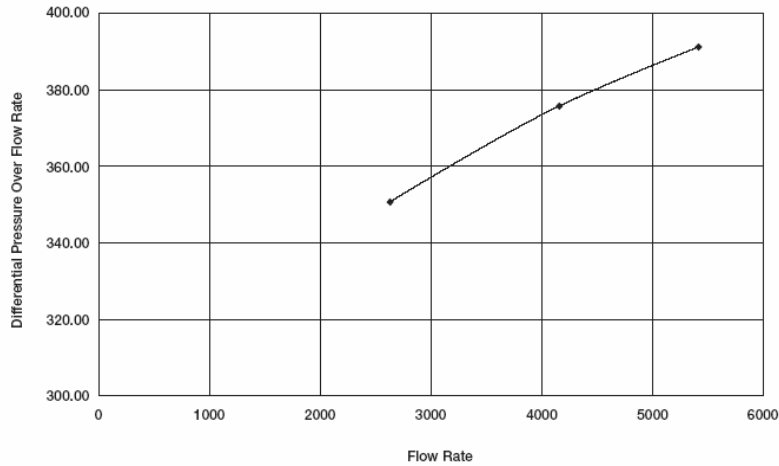
(ب) روش *LIT*

i. روش مربع فشار

مرحله اول: تشکیل جدول زیر:

p_{wf}	$(\bar{p}_r^2 - p_{wf}^2), \text{psi}^2 \times 10^3$	$Q_g, \text{Mscf/day}$	$(\bar{p}_r^2 - p_{wf}^2)/Q_g$
$\bar{p}_r = 1952$	0	0	—
1700	920	2624.6	351
1500	1560	4154.7	375
1300	2120	5425.1	391

مرحله دوم: رسم نمودار $(\bar{p}_r^2 - p_{wf}^2)/Q_g$ بر حسب Q_g در مقیاس کارتیزین و رسم بهترین خط گذرا از بین نقاط حاصله (شکل ۸-۱۰).



شکل ۸-۱۰: روش مربع فشار

مرحله سوم: تعیین عرض از مبدأ و شیب خط راست:

- عرض از مبدأ $a = 318$

- شیب $a = 0.01333$

مرحله چهارم: محاسبه شکل درجه دوم رویه مربع فشار:

$$(3,810,000 - p_{wf}^2) = 318Q_g + 0.01333Q_g^2$$

مرحله پنجم به دست آوردن داده های IPR با فرض مقادیر مختلف p_{wf} و حل

معادله (۸-۲۸) نسبت به Q_g :

P_{wf}	$(\bar{p}_r^2 - p_{wf}^2), \text{psi}^2 \times 10^3$	$Q_g, \text{Mscf/day}$
$\bar{p}_r = 1952$	0	0
1800	570	1675
1600	1250	3436
1000	2810	6862
500	3560	8304
0	3810	8763 = AOF = $(Q_g)_{\max}$

ii. روش تقریب فشار

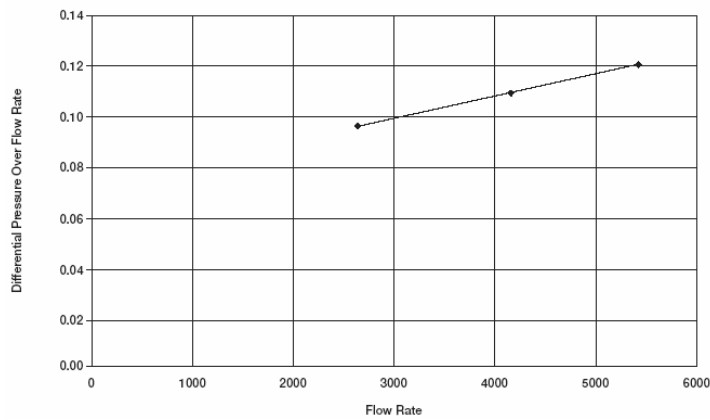
مرحله اول: تشکیل جدول زیر:

P_{wf}	$(\bar{p}_r - p_{wf})$	$Q_g, \text{Mscf/day}$	$(\bar{p}_r - p_{wf})/Q_g$
$\bar{p}_r = 1952$	0	0	—
1700	252	262.6	0.090
1500	452	4154.7	0.109
1300	652	5425.1	0.120

مرحله دوم: رسم نمودار $(\bar{p}_r - p_{wf})/Q_g$ بر حسب Q_g در مقیاس کارتیزین (شکل ۸-۱۱). انتخاب بهترین خط گذرا از بین نقاط حاصله و تعیین عرض از مبدأ و شیب این خط:

$$a_1 = 0.06$$

$$b_1 = 1.111 \times 10^{-5}$$



شکل ۸-۱۱: روش تقریب فشار

مرحله سوم: تشکیل درجه دوم روش تقریب فشار:

$$(1952 - p_{wf}) = 0.06Q_g + 1.111 \times 10^{-5} Q_g^2$$

مرحله چهارم: به دست آوردن داده های IPR با معادله (۸-۳۳):

p_{wf}	$(\bar{p}_r - p_{wf})$	$Q_g, \text{Mscf/day}$
1952	0	0
1800	152	1879
1600	352	3543
1000	952	6942
500	1452	9046
0	1952	10827

iii. رویکرد شبه فشار

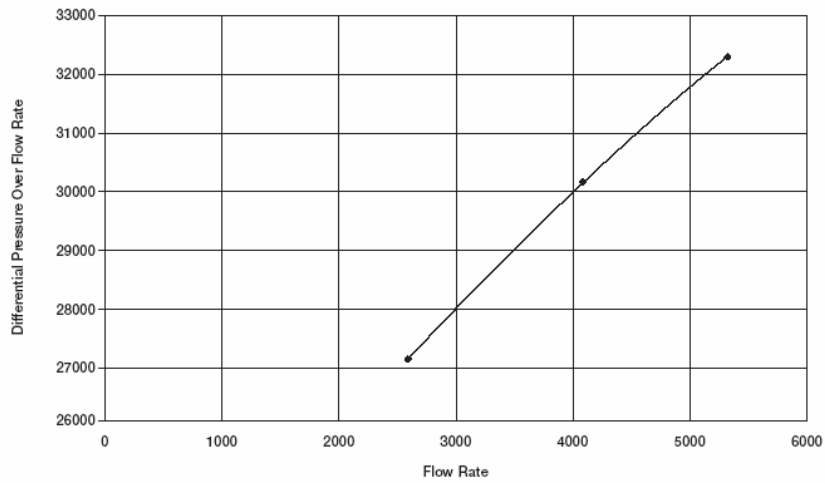
مرحله اول: تشکیل جدول زیر:

p_{wf}	$\psi, \text{psi}^2/\text{cp}$	$(\bar{\psi}_r - \psi_{wf})$	$Q_g, \text{Mscf/day}$	$(\bar{\psi}_r - \psi_{wf})/Q_g$
$\bar{p}_r = 1952$	316×10^6	0	0	—
1700	245×10^6	71×10^6	262.6	27.05×10^3
1500	191×10^6	125×10^6	4154.7	30.09×10^3
1300	141×10^6	175×10^6	5425.1	32.26×10^3

مرحله دوم: رسم نمودار $(\bar{\psi}_r - \psi_{wf})/Q_g$ بر حسب Q_g در مقیاس کارتزین (شکل ۸-۱۲) و تعیین بهترین خط گذرا از بین نقاط حاصله:

$$a_2 = 22.28 \times 10^3$$

$$b_2 = 1.727$$



شکل ۸-۱۲: روش شبه فشار

مرحله سوم: تشکیل درجه دوم روش شبه فشار گاز:

$$(316 \times 10^6 - \psi_{wf}) = 22.28 \times 10^3 Q_g + 1.727 Q_g^2$$

مرحله چهارم: به دست آوردن داده‌های IPR با فرض مقادیر مختلف p_{wf} (ψ_{wf}) و محاسبه Q_g های مربوطه با معادله (۸-۳۸):

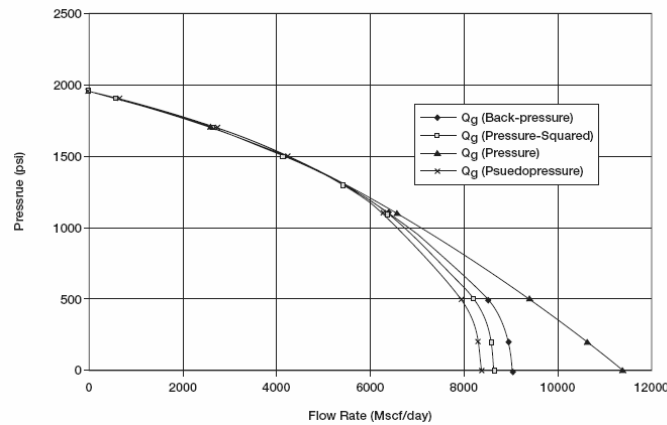
p_{wf}	ψ	$\bar{\psi}_r - \psi_{wf}$	$Q_g, \text{ Mscf/day}$
1952	316×10^6	0	0
1800	270×10^6	46×10^6	1794
1600	215×10^6	101×10^6	3503
1000	100×10^6	216×10^6	6331
500	40×10^6	276×10^6	7574
0	0	316×10^6	$8342 = AOF (Q_g)_{max}$

ج) مقایسه دبی‌های جریان گاز به دست آمده از چهار روش بالا. نتایج محاسبه

IPR در زیر فهرست شده‌اند:

Gas Flow Rate, Mscf/day				
Pressure	Back-pressure	p ² -Approach	p-Approach	ψ-Approach
19520	0	0	0	0
1800	1720	1675	1879	1811
1600	3406	3436	3543	3554
1000	6891	6862	6942	6460
500	8465	8304	9046	7742
0	8980	8763	10827	8536
	6.0%	5.4%	11%	—

چون روش تحلیل شبه فشار صحیح‌ترین روش است و معمولاً بیشترین کاربرد را نیز دارد، صحت هر یک از روش‌های پیش‌بینی داده‌های *IPR* با رویکرد شبه فشار مقایسه می‌شوند (شکل ۸-۱۳). نتایج نشان می‌دهند که معادله مربع فشار داده‌های *IPR* را با میانگین خطای 5.4% تولید کرده است. این خطای متوسط در معادله فشار بازگشتی و روش تقریب فشار به ترتیب به ۶ درصد و ۱۱ درصد می‌رسد. باید گفت که روش تقریب فشار در عمل به فشارهای بیشتر از 3000 *psi* محدود می‌شود.



شکل ۸-۱۳: منحنی‌های *IPR* همه روش‌ها

روابط عملکرد جریان (IPR) آینده^۱

زمانی که چاهی آزمایش شد و معادله عملکرد جریان با قابلیت دهش متناسب با آن تعیین شد، داده‌های IPR باید به صورت تابعی از فشار متوسط مخزن پیش‌بینی شوند. ویسکوزیته گاز μ_g و ضریب تراکم‌پذیری گاز z پارامترهایی هستند که با تغییر فشار متوسط مخزن \bar{p}_r بیشترین تغییر را از خود نشان می‌دهند. فرض کنید فشار متوسط کنونی مخزن \bar{p}_{r1} ، ویسکوزیته گاز μ_{g1} و ضریب تراکم‌پذیری گاز z_1 باشند و μ_{g2} و z_2 ، در یک فشار متوسط مخزن انتخابی در آینده \bar{p}_{r2} ، خواص گاز را نشان می‌دهند. برای تقریب زدن اثر تغییرات فشار مخزن (از \bar{p}_{r1} تا \bar{p}_{r2}) بر ضرایب معادله قابلیت دهش روش‌های زیر توصیه می‌شوند:

معادله فشار بازگشتی

ضریب عملکرد C پارامتری وابسته به فشار است و نسبت به هر تغییری در فشار مخزن به صورت زیر تصحیح می‌شود:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{\mu_{g1} z_1}{\mu_{g2} z_2} \right) \quad (40-8)$$

مقدار n اصولاً ثابت در نظر گرفته می‌شود.

روش‌های LIT

ضریب جریان آرام a و ضریب جریان اینرسی - آشفته b هر روش LIT قبلی معادلات (۲۴-۸)، (۲۹-۸) و (۳۴-۸) مطابق با روابط ساده زیر اصلاح می‌شوند:

روش مربع فشار

ضرایب a و b مربع فشار در رابطه با تغییر فشار مخزن از \bar{p}_{r1} تا \bar{p}_{r2} با روابط زیر اصلاح می شوند:

$$a_2 = a_1 \left(\frac{\mu_{g2} z_2}{\mu_{g1} z_1} \right) \quad (41-8)$$

$$b_2 = b_1 \left(\frac{\mu_{g2} z_2}{\mu_{g1} z_1} \right) \quad (42-8)$$

اندیس های 1 و 2 شرایط را در فشار مخزن \bar{p}_{r1} تا \bar{p}_{r2} نشان می دهند.

روش تقریب فشار

$$a_2 = a_1 \left(\frac{\mu_{g2} B_2}{\mu_{g1} B_1} \right) \quad (43-8)$$

$$b_2 = b_1 \left(\frac{\mu_{g2} B_2}{\mu_{g1} B_1} \right) \quad (44-8)$$

B_g ضریب حجمی سازند گاز است.

رویکرد شبه فشار

ضرایب a و b رویه شبه فشار اصولاً از فشار مخزن مستقل اند و می توان آنها را به صورت ثابت در نظر گرفت.

مثال ۳-۱

علاوه بر اطلاعات مثال ۲-۸ اطلاعات زیر نیز موجوداند:

• $(\mu_g z) = 0.01206$ در فشار 1952 psi.

• $(\mu_g z) = 0.01180$ در فشار 1700 psi.

با استفاده از روش‌های

الف) فشار بازگشتی

ب) مربع فشار

ج) شبه فشار

اگر فشار مخزن از 1952 psi به 1700 psi افت کند، داده‌های *IPR* را برای

این چاه به دست آورید.

جواب

مرحله اول: اصلاح ضرایب *a* و *b* در هر معادله:

معادله فشار بازگشتی:

با استفاده از معادله (۸-۴۰):

$$C = 0.0169 \left(\frac{0.01206}{0.01180} \right) = 0.01727$$

$$Q_g = 0.01727(1700^2 - p_{wf}^2)0.87$$

روش مربع فشار:

اصلاح *a* و *b* با معادلات (۸-۴۱) و (۸-۴۲):

$$a = 318 \left(\frac{0.01180}{0.01206} \right) = 311.14$$

$$b = 0.01333 \left(\frac{0.01180}{0.01206} \right) = 0.01304$$

$$(1700^2 - p_{wf}^2) = 311.14 Q_g + 0.01304 Q_g^2$$

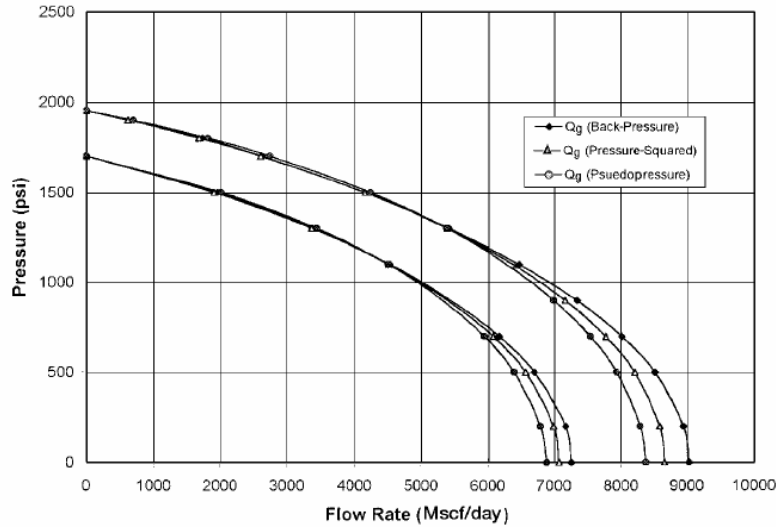
روش شبه فشار:

لازم نیست اصلاحی انجام شود.

مرحله دوم: تولید داده‌های *IPR*:

Gas Flow rate Q_g , Mscf/day			
p_{wf}	Back-Pressure	p^2 -Method	ψ -Method
$\bar{p}_r = 1700$	0	0	0
1600	1092	1017	1229
1000	4987	5019	4755
500	6669	6638	6211
0	7216	7147	7095

در شکل ۸-۱۴ داده های IPR پیش بینی شده با روش های بالا مقایسه شده اند.



شکل ۸-۱۴: مقایسه IPR

عملکرد چاه گازی افقی^۱

برخی مخازن گازی به علت نفوذپذیری پایین با دبی های بسیار کم تولید می کنند و غیراقتصادی محسوب می شوند. اکثر چاه های عمودی حفر شده در مخازن گازی سفت و فشرده با شیوه شکافدار کردن هیدرولیکی و یا عملیات اسید کاری برای رسیدن به یک دبی جریان اقتصادی تحریک می شوند. به علاوه، برای تخلیه یک مخزن گازی متراکم و سفت چاه های عمودی باید در فواصل مناسبی، و به تعداد زیاد،

1- Horizontal Gas Well Performance

برای تخلیه مخزن حفر شوند. در این چنین مخازنی، چاه‌های افقی چاره‌ای مناسب برای تخلیه مؤثر مخازن گازی سفت و فشرده‌اند و دبی‌های جریان نسبتاً بالایی را نتیجه می‌دهند. یوشی نشان داده که چاه‌های افقی را در هر دو دسته مخزن با نفوذپذیری پایین و بالا می‌توان استفاده کرد.

در محاسبه دبی جریان گاز یک چاه افقی، یوشی مفهوم شعاع مؤثر چاه r_w' را در معادله جریان گاز قرار داده است. شعاع مؤثر چاه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r_w' = \frac{r_{eh}(L/2)}{a \left[1 + \sqrt{1 - (L/2a)^2} (h/2r_w)^{h/L} \right]} \quad (45-1)$$

$$a = \left(\frac{L}{2} \right) \left[0.5 + \sqrt{0.25 + (2r_{eh}/L)^4} \right]^{0.5} \quad (46-1)$$

$$r_{eh} = \sqrt{\frac{43,560A}{\pi}} \quad (47-1)$$

L طول چاه افقی، ft ؛

h ضخامت، ft ؛

r_w شعاع چاه، ft ؛

r_{eh} شعاع زهکشی چاه افقی، ft ؛

a نصف قطر بزرگ بیضی زهکشی، ft ؛

A مساحت ناحیه زهکشی، acres.

روش‌های محاسبه مساحت ناحیه زهکشی چاه افقی A در فصل هفتم با معادلات (۴۵-۷) و (۴۶-۷) نشان داده شده‌اند.

یوشی معادله جریان آرام داری را در جریان حالت شبه پایدار به دو شکل ارائه داده است:

* شکل مربع فشار

$$Q_g = \frac{kh(\bar{p}_r^2 - p_{wf}^2)}{1422T(\mu_g z)_{avg} \left[\ln\left(\frac{r_{eh}}{r_w}\right) - 0.75 + s \right]} \quad (488)$$

\$Q_g\$ دبی جریان گاز، Mscf/day؛

\$s\$ ضریب پوسته؛

\$k\$ نفوذپذیری، mD؛

\$T\$ دما، \$^\circ R\$.

* شکل شبه فشار

$$Q_g = \frac{kh(\bar{\psi}_r - \psi_{wf})}{1422T \left[\ln\left(\frac{r_{eh}}{r_w}\right) - 0.75 + s \right]} \quad (498)$$

مثال ۴-۱

چاه گازی افقی به طول 2000 ft ناحیه‌ای به مساحت 120 acres را زهکشی

می‌کند. اطلاعات زیر دربارهٔ مخزن و چاه موجوداند:

$$\bar{\psi}_r = 340 \times 10^6 \text{ psi}^2 / cp$$

$$\psi_r = 128 \times 10^6 \text{ psi}^2 / cp \quad s = 0.5$$

$$r_w = 0.3 \text{ ft} \quad k = 1.5 \text{ mD}$$

$$T = 180^\circ F$$

$$\bar{p}_r = 2000 \text{ psi}$$

$$p_{wf} = 1200 \text{ psi}$$

$$(\mu_g z)_{avg} = 0.011826$$

$$h = 20 \text{ ft}$$

با فرض جریان حالت شبه پایدار، دبی جریان گاز را با روش‌های مربع فشار و

شبه فشار محاسبه کنید.

جواب

مرحله اول: محاسبه شعاع زهکشی چاه افقی:

$$r_{eh} = \sqrt{\frac{43,560(120)}{\pi}} = 1290 \text{ ft}$$

مرحله دوم: محاسبه نصف قطر اصلی بیضی تخلیه با معادله (۸-۴۶):

$$a = \left(\frac{2000}{2}\right) \left[0.5 + \sqrt{0.25 + \left(\frac{2(1290)}{2000}\right)^4}\right]^{0.5} = 1495.8$$

مرحله سوم: محاسبه شعاع مؤثر r_w' چاه با معادله (۸-۴۵):

$$\left(\frac{h}{2r_w}\right)^{h/L} = \left(\frac{20}{2(0.3)}\right)^{20/2000} = 1.0357$$

$$1 + \sqrt{1 - (L/2a)^2} = 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2000}{2(1495.8)}\right)^2} = 1.7437$$

با استفاده از معادله (۸-۴۵):

$$r_w' = \frac{1290(200/2)}{1495.8(1.7437)(1.0357)} = 477.54 \text{ ft}$$

مرحله چهارم: محاسبه دبی جریان با تقریب مربع فشار و روش شبه فشار:

* مربع فشار

$$Q_g = \frac{1.5(20)(2000^2 - 1200^2)}{1422T(640)(0.011826) \left[\ln\left(\frac{1290}{477.54}\right) - 0.75 + 0.5 \right]} = 9,594 \text{ Mscf/day}$$

* روش شبه فشار

$$Q_g = \frac{1.5(20)(340-128) \times 10^6}{1422(640) \left[\ln\left(\frac{1290}{477.54}\right) - 0.75 + 0.5 \right]} = 9396 \text{ Mscf/day}$$

در جریان آشفته، معادله داری برای در نظر گرفتن افت فشار اضافی ناشی از جریان غیرداری با در بر گرفتن ضریب پوسته وابسته به دبی DQ_g اصلاح می شود. در عمل، معادله فشار بازگشتی و رویه LIT برای محاسبه دبی جریان و تشکیل منحنی IPR چاه افقی استفاده می شود. آزمایش های چندجریان (دبی های مختلف)، یا آزمون های قابلیت دهش، باید برای تعیین ضرایب معادله جریان انتخابی در چاه افقی انجام شوند.

مسائل

۱) یک چاه گازی در یک فشار ته چاهی ثابت در حال جریان 1000 psi تولید می کند. وزن مخصوص گاز تولید شده 0.65 است. اطلاعات زیر نیز موجوداند:

$$\begin{aligned} r_w &= 0.33 \text{ ft} & r_e &= 1000 \text{ ft} & k &= 20 \text{ mD} \\ T &= 140^\circ \text{ F} & s &= 0.40 \\ p_i &= 1500 \text{ psi} \\ h &= 20 \text{ ft} \end{aligned}$$

دبی جریان گاز را با روش های زیر محاسبه کنید:

الف) رویه شبه فشار گاز واقعی؛

ب) تقریب مربع فشار.

۲) داده های زیر از آزمایش فشار بازگشتی یک چاه به دست آمده اند:

$Q_g, \text{ Mscf/day}$	$p_{wf}, \text{ psi}$
0	481
4928	456
6479	444
8062	430
9640	415

الف) مقادیر C و n را محاسبه کنید؛

ب) AOF را تعیین کنید؛

ج) منحنی‌های IPR را در فشارهای مخزن 481psi تا 300psi به دست آورید.

۳) اطلاعات آزمایش فشار بازگشتی زیر موجوداند:

$Q_g, \text{Mscf/day}$	p_{wf}, psi
0	5240
1000	4500
1350	4191
2000	3530
2500	2821

داریم:

$$0.78 = \text{وزن مخصوص}$$

$$12\% = \text{تخلخل}$$

$$S_{wi} = 15\%$$

$$T = 281^\circ F$$

الف) منحنی IPR کنونی مخزن را با:

i. معادله فشار بازگشتی ساده شده

ii. روشهای آرام - اینرسی - آشفته (LIT) با

- رویکرد مربع فشار،
- رویکرد تقریب فشار،
- رویکرد شبه فشار.

به دست آورید.

ب) قسمت الف را برای فشار آینده مخزن 4000ft تکرار کنید.

۴) مساحت تقریبی زهکشی یک چاه افقی به طول 3000ft ، 180acres است.

داریم:

$$p_i = 2500 \text{ psi}$$

$$T = 120^\circ F$$

$$\gamma_g = 0.65$$

$$p_{wf} = 1500 \text{ psi}$$

$$r_w = 0.25 \text{ ft}$$

$$k = 25 \text{ mD}$$

$$h = 20 \text{ ft}$$

دبی جریان گاز را محاسبه کنید.

مراجع

1. Earlougher, Robert C., Jr., *Advances in Well Test Analysis*. Monograph Vol. 5, Society of Petroleum Engineers of AIME. Dallas, TX: Millet the Printer, 1977.
2. ERCB. *Theory and Practice of the Testing of Gas Wells*, 3rd ed. Calgary: Energy Resources Conservation Board, 1975.
3. Fetkovich, M. J., "Multipoint Testing of Gas Wells," SPE Mid-continent Section Continuing Education Course of Well Test Analysis, March 17, 1975.
4. Golan, M., and Whitson, C., *Well Performance*. International Human Resources Development Corporation, 1986.
5. Joshi, S., *Horizontal Well Technology*. Tulsa, OK: PennWell Publishing Company, 1991.
6. Lee, J., *Well Testing*. Dallas: Society of Petroleum Engineers of AIME, 1982.
7. Matthews, C., and Russell, D., "Pressure Buildup and Flow Tests in Wells." Dallas: SPE Monograph Series, 1967.
8. Rawlins, E. L., and Schellhardt, M. A., "Back-Pressure Data on Natural Gas Wells and Their Application to Production Practices." U.S. Bureau of Mines Monograph 7, 1936.

