

# ارائه یک روش جدید جهت تفسیر داده‌های چاه آزمایی در مخازن شکاف‌دار / مدل تخلخل دوگانه

میثم ادیبی فرد، سیدعلیرضا طباطبائی نژاد\* و الناز خداپناه

پژوهشکده نفت و گاز سهند، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۱۳

## چکیده

در این مقاله، یک روش جدید جهت تخمین پارامترهای شکاف برای مخازن شکاف‌دار ارائه شده است. این روش برای تفسیر آزمایش‌های چاه آزمایی ناتمام پیشنهاد می‌شود و در هر دو نوع آزمایش تخلیه فشار و ساخت فشار به کار می‌رود. در آزمایش تخلیه فشار با استفاده از این روش می‌توان مقدار  $\lambda/w$  را برای حالتی که تنها خط راست اولیه و ناحیه جریان گذار مشاهده می‌شود، تخمین زد. در این روش، برای تخمین  $\lambda/w$  نیازی به مشاهده نقطه عطف در نمودار نیمه لگاریتمی برای داده‌های فشاری نیست. برای آزمایش ساخت فشار می‌توان این روش را با روش‌های قبلی ترکیب کرده و پارامترهای  $\lambda$  و  $w$  را به صورت مجزا تعیین نمود. این روش مبتنی بر مدل تخلخل دوگانه با جریان درون تخلخلی شبه پایا می‌باشد. استخراج معادله مربوطه با استفاده از بسط تیلور جهت تقریب مشتق فشار انجام می‌گیرد. همچنین، در صورت در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز، می‌توان با استفاده از این روش، تراوایی ماتریس سنگ را محاسبه نمود. برای اعتبارسنجی روش ارائه شده، ۳ مورد شبیه‌سازی چاه‌آزمایی (دو مورد آزمایش تخلیه فشار و یک مورد آزمایش ساخت فشار) با استفاده از نرم‌افزار Pansystem انجام شده است. همچنین، یک مورد تحلیل داده‌های واقعی چاه‌آزمایی با استفاده از این روش مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار  $\lambda/w$  تخمین زده شده توسط روش مورد نظر اختلاف بسیار اندکی با مقدار استفاده شده جهت انجام شبیه‌سازی چاه‌آزمایی دارد.

**کلمات کلیدی:** پارامترهای شکاف، آزمایش‌های ناتمام چاه‌آزمایی، ناحیه گذار، آزمایش ساخت فشار و تراوایی ماتریس

## مقدمه

گازی موجود در دنیا شکاف‌دار محسوب می‌شدند [۳]. چاه‌آزمایی یکی از روش‌های مورد استفاده جهت تخمین پارامترهای مخزنی می‌باشد. اهمیت این روش برای مخازن شکاف‌دار به واسطه ناهمگنی موجود در مخزن افزایش می‌یابد. مغزه‌گیری و نمودارگیری چاه به دلیل ناهمگنی موجود در مخزن

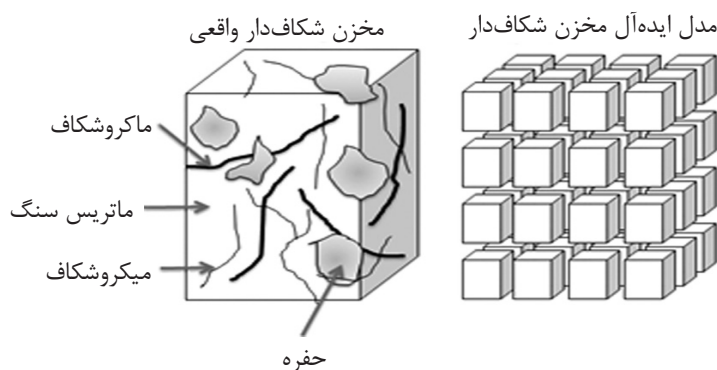
مخازن شکاف‌دار بخش مهمی از مخازن هیدروکربنی موجود در دنیا را تشکیل می‌دهند [۱ و ۲]. تا سال ۲۰۰۷ میلادی ۶۰٪ از مخازن نفتی و ۴۰٪ از مخازن

به دست آورد. البته دا سوان هیچ معادله ای برای ناحیه جریان گذار<sup>۲</sup> بین ماتریس-شکاف ارائه نداد؛ هرچند، او نیز همانند مدل وارن و روت به دو خط راست برای زمان های اولیه و نهایی چاه آزمایشی دست یافت [۶]. خط راست اولیه بیان گر جریان سیال به واسطه تراوایی از شکاف می باشد در حالی که خط راست نهایی بیان گر جریان ترکیبی سیال از شکاف به علاوه ماتریس است که توسط تراوایی شکاف به چاه هدایت می شود. نجیوریتا با استفاده از روش دا سوان معادلاتی برای ناحیه جریان گذار ارائه نمود و پاسخ فشاری چاه را توسط ۴ پارامتر مشخص کرد [۷]. سررا و همچنین همکارانش و استرولتسوا به صورت تقریباً هم زمان و با استفاده از روش های مختلف اعلام کردند که پاسخ فشاری چاه برای ناحیه جریان گذار برای جریان درون تخلخلی ناپایا به صورت یک خط راست با شیبی برابر با نصف شیب خط راست نهایی خواهد بود [۸ و ۹]. لی و همکارانش نیز، جریان درون تخلخلی ناپایا را مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند ناحیه جریان گذار شامل خطوط راستی با شیب ۰/۵ و ۰/۶۷ برابر شیب خط راست نهایی می باشد [۱۰].

وجه تمایز تمامی مدل های ذکر شده در نحوه مدل نمودن جریان درون تخلخلی بین ماتریس-شکاف می باشد.

و کوچک بودن ناحیه مورد بررسی، روش های مناسبی برای توصیف مخازن شکاف دار نمی باشند. علاوه بر این، وجود حفرات<sup>۱</sup> درون مخزن را نمی توان از طریق نمودارگیری چاه مشخص نمود و مغزه گیری نیز، اغلب تراوایی حفرات را کمتر از مقدار واقعی نشان می دهد [۴]. دقت چاه آزمایشی به توسعه مدل های دقیق تر جهت توصیف رفتار فشاری مخزن و ابزارهای مناسب جهت تشخیص مدل مخزن از طریق مدل های موجود بستگی دارد.

از زمانی که وارن و روت اولین مدل فیزیکی را برای توصیف مخزن شکاف دار ارائه نمودند، بیش از نیم قرن می گذرد. از آن زمان تا کنون مدل های مختلفی جهت توصیف رفتار فشاری مخازن شکاف دار توسعه یافته است. به مرور زمان این مدل ها توسط ابزار ریاضی پیشرفته تر، واقع گرایانه تر شده اند. با این وجود این مدل اولیه به دلیل سادگی و منطبق بودن با برخی از داده های فشار هنوز کاربرد دارد. در این مدل از جریان درون تخلخلی شبه پایا برای استخراج معادلات استفاده شده و به منظور توصیف مخازن شکاف دار ۲ ترم  $\lambda$  و  $\omega$  به کار رفته است. شکل ۱ مدل تخلخل دوگانه در نظر گرفته شده توسط وارن و روت را نشان می دهد [۵]. در سال ۱۹۷۶ میلادی، دا سوان نقطه عطفی در زمینه چاه آزمایشی مخازن شکاف دار ایجاد نمود. او جریان درون تخلخلی را به صورت ناپایا در نظر گرفته و پاسخ فشاری چاه را



شکل ۱- مدل تخلخل ۲ گانه استفاده شده توسط وارن و روت [۵]

1. Vugs

2. Transition Flow

$$(t_D)_{min} = \frac{\omega}{\lambda} \ln \left( \frac{1}{\omega} \right) \quad (2)$$

همان‌گونه که در معادلات بالا مشخص است، جهت تخمین پارامترهای شکاف نیازی به وجود خطوط راست اولیه و نهایی در نمودار نیمه لگاریتمی فشار-زمان نمی‌باشد. در سال ۱۹۸۵ میلادی، رینولدز و همکاران منحنی‌های الگویی را برای تخمین پارامترهای شکاف از طریق آزمایش‌های ناتمام چاه آزمایشی ارائه کردند. آنها جریان درون تخلخلی ماتریس-شکاف را به صورت ناپایا و بلوک‌های ماتریس را به صورت افقی در نظر گرفتند [۲۱]. منحنی‌های الگوی ارائه شده توسط ایشان زمانی کاربرد دارد که خط راست ناحیه جریان گذار و یا خط راست نهایی که بیان‌گر جریان ترکیبی شکاف-ماتریس می‌باشد، بر روی نمودار نیمه لگاریتمی موجود باشد. مشکل اصلی روش ارائه شده، منحصر به فرد نبودن<sup>۲</sup> منحنی‌های الگو جهت تخمین پارامترهای مخزن می‌باشد. اولدریچ و ارشاقی نیز از مختصات نقطه عطف در نمودار نیمه-لگاریتمی فشار-زمان جهت تخمین پارامترهای  $\lambda$  و  $\omega$  استفاده کردند [۲۲]. رویه ارائه شده توسط ایشان برای آزمایش‌های تخلیه و ساخت فشار بسیار پیچیده است. در سال ۲۰۰۶ میلادی، تیاب و ایگبوکوی روشی را جهت تخمین پارامترهای شکاف از طریق آزمایش‌های چاه آزمایشی ناتمام ارائه نمودند [۲۳]. در این روش نیز لازم است نقطه عطف در نمودار نیمه لگاریتمی فشار-زمان مشاهده گردد.

### روش تحقیق

در این مقاله فرض شده است که به دلایل مختلف از جمله: مدت زمان کم چاه آزمایشی، مقادیر کم  $\lambda$ ، اثر مرز بیرونی مخزن و مقادیر کم زمان بهره‌برداری قبل از آزمایش ساخت فشار، مشاهده نقطه عطف در نمودار نیمه لگاریتمی فشار-زمان امکان پذیر نمی‌باشد.

برخی از محققین گزارش کرده‌اند که فرض جریان درون تخلخلی پایا با داده‌های فشار مشاهده شده سازگار است [۱۱-۱۴] در حالی که برخی دیگر، به ناسازگاری این فرض با داده‌های فشاری و مدل‌های واقع‌گرایانه‌تر اشاره کرده‌اند [۱۵-۱۸]. در واقع جریان درون تخلخلی پایا را می‌توان به عنوان تقریبی از جریان درون تخلخلی ناپایا در زمان‌های طولانی در نظر گرفت.

در اغلب مدل‌های ذکر شده، تخمین پارامترهای مخزن شکافدار با فرض وجود ۲ خط راست و ناحیه گذار بین آنها در نمودار نیمه لگاریتمی فشار-زمان صورت می‌گیرد. روش وارن و روت برای تخمین پارامتر  $\omega$  نیازمند وجود خطوط راست اولیه و نهایی می‌باشد. همچنین روش ارائه شده توسط بوردت و گرینگارتن نیازمند رسم خطی افقی است که از نصف ناحیه جریان گذار عبور می‌کند. نقاط زمانی برخورد این خط افقی با خطوط راست اولیه و نهایی، جهت تخمین  $\lambda$  و  $\omega$  مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۹]. این در حالی است که بنا به دلایل مختلف (مانند اثر ذخیره چاه، مدت زمان کم چاه آزمایشی، اثر مرز مخزن و مقادیر بسیار زیاد  $\lambda$ ، امکان مشاهده منحنی S-شکل در نمودار نیمه-لگاریتمی فشار-زمان وجود ندارد. به دلیل عدم مشاهده پاسخ کامل مربوط به مخازن تخلخل دوگانه، پارامترهای مهم مخزنی (از جمله  $\lambda$  و  $\omega$ ) در این نوع از مخازن قابل محاسبه نیست. از آنجایی که چاه آزمایشی از آزمایش‌های بسیار پرهزینه در مخازن هیدروکربنی است، برخی از محققین درصدد تخمین پارامترهای شکاف برای آزمایش‌های چاه آزمایشی ناتمام<sup>۱</sup> بوده‌اند.

بوردت و همکاران معادلات زیر را جهت تخمین مقادیر  $\lambda$  و  $\omega$  با استفاده از مختصات نقطه می‌نیم مشتق فشار در نمودار لگاریتمی مشتق فشار-زمان ارائه نموده‌اند [۲۰]:

$$(t_D p_D')_{min} = 0.5 \left[ 1 + \omega \left( \frac{1}{1-\omega} \right) - \omega \left( \frac{\omega}{1-\omega} \right) \right] \quad (1)$$

1. Well Tests Incomplete  
2. Non-Uniqueness

$\frac{\lambda}{\omega}$  را با استفاده از شیب خط راست حاصل شده تخمین زد. با بعددار نمودن معادله ۴، معادله زیر به دست می آید:

$$\frac{2\pi k_f h}{q\mu B} \left( t \frac{\partial \Delta p_{wf}}{\partial t} \right) = 0.5 \left[ 1 - \frac{\alpha k_m t}{\mu (\Phi_f c_{tf})} \right] \quad (5)$$

این روش با روش ارائه شده توسط اونور و ساتمن متفاوت است؛ چرا که آنها جهت استخراج معادلات مربوطه از ترم  $\exp\left(\frac{-\lambda t_D}{\omega(1-\omega)}\right)$  در معادله ۳ صرف نظر کردند [۲۴]. از معادله ۴ می توان جهت محاسبه مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  استفاده نمود. بدین منظور تراوایی شکاف جهت محاسبه پارامترهای بدون بعد مورد نیاز است. تراوایی شکاف را می توان از شیب خط راست اولیه به دست آورد. از معادله ۵ تراوایی ماتریس سنگ قابل محاسبه است. برای این منظور، ظرفیت ذخیره شکاف و ضریب شکل ماتریس مورد نیاز می باشد. ظرفیت ذخیره شکاف را می توان از سایر منابع نظیر مغزه یا نمودارگیری به دست آورد. ضریب شکل ماتریس را هم می توان با استفاده از مشخص نمودن شکل هندسی و ابعاد بلوکها محاسبه نمود. ذکر این نکته ضروری است که ما در اغلب موارد جهت آنالیز داده های چاه آزمایشی به شکل هندسی بلوکها احتیاج داریم. بنابراین مشخص بودن شکل بلوکها جهت استفاده در معادله ۵، محدودیت جدیدی ایجاد نمی کند. ابعاد بلوکها را نیز می توان از سایر منابع در دسترس مانند مغزه تعیین نمود.

در آزمایش ساخت فشار، پس از در نظر گرفتن اصل برهم نهی بر روی معادله ارائه شده توسط وارن و روت، معادله زیر برای فشار بدون بعد چاه به دست می آید:

$$p_{DBu} = 0.5 \left[ \ln \left( \frac{t_{pD} \Delta t_D}{t_{pD} + \Delta t_D} \right) + Ei \left( -\frac{\lambda t_{pD}}{\omega(1-\omega)} \right) - Ei \left( -\frac{\lambda t_{pD}}{(1-\omega)} \right) - Ei \left( -\frac{\lambda(t_{pD} + \Delta t_D)}{\omega(1-\omega)} \right) + Ei \left( -\frac{\lambda(t_{pD} + \Delta t_D)}{(1-\omega)} \right) - Ei \left( -\frac{\lambda(\Delta t_D)}{(1-\omega)} \right) + Ei \left( -\frac{\lambda(\Delta t_D)}{\omega(1-\omega)} \right) + 0.80908 \right] + S \quad (6)$$

در معادله بالا ترم  $p_{DBu}$  اختلاف فشار چاه طی آزمایش ساخت فشار با مقدار فشار چاه در زمان شروع آزمایش ساخت فشار است.

بنابراین تنها نواحی موجود در نمودار نیمه لگاریتمی عبارتند از: خط راست اولیه (مربوط به جریان شعاعی درون شبکه شکاف) و ناحیه جریان گذار. همچنین توسعه یافتگی ناحیه جریان گذار به گونه ای است که نمی توان نقطه عطف را در نمودار نیمه لگاریتمی مشاهده نمود. از این رو تخمین پارامترهای شکاف با استفاده از روش های متداول، امکان پذیر نمی باشد.

از این رو و با توجه به محدودیت های موجود در چاه آزمایشی مخازن شکافدار با توجه به موارد فوق، روشی جدید در این پژوهش جهت تخمین پارامترهای شکاف به هنگام عدم مشاهده کامل ناحیه جریان گذار ارائه گردیده است. با استفاده از روش ارائه شده در این مقاله، می توان مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  را برای آزمایش های تخلیه و ساخت فشار تخمین زد. علاوه بر این، می توان با ترکیب نمودن روش جدید با روش ارائه شده توسط تیاب و ایگبوکوی، مقادیر  $\lambda$  و  $\omega$  را به صورت مجزا برای آزمایش ساخت فشار تعیین نمود. این روش مبتنی بر مدل ارائه شده توسط وارن و روت می باشد. پس از مشتق گیری از معادله ارائه شده توسط وارن و روت نسبت به لگاریتم زمان، معادله زیر به دست می آید:

$$\frac{\partial p_D}{\partial(\ln t_D)} = 0.5 \left[ 1 + \exp\left(\frac{-\lambda t_D}{\omega(1-\omega)}\right) - \exp\left(\frac{-\lambda t_D}{(1-\omega)}\right) \right] \quad (3)$$

رابطه بالا بیان گر رفتار مشتق فشار بر حسب زمان در ناحیه جریان گذار می باشد. با استفاده از تقریب درجه اول بسط تیلور برای ترم های نمایی، معادله زیر به دست می آید:

$$\frac{\partial p_D}{\partial(\ln t_D)} = 0.5 \left[ 1 - \frac{\lambda t_D}{\omega} \right] \quad (4)$$

استفاده از تقریب خطی تیلور محدودیت هایی را بر معادله ۴ اعمال می نماید. برای معتبر بودن این تقریب، باید مقادیر  $\frac{-\lambda t_D}{\omega(1-\omega)}$  و  $\frac{-\lambda t_D}{(1-\omega)}$  به اندازه کافی کوچک باشند. از این رو، معادله ۴ برای زمان هایی کاربرد دارد که جریان درون تخلخلی از ماتریس به شکاف تازه آغاز شده است (یعنی زمانی که هنوز نقطه عطف در نمودار نیمه لگاریتمی مشاهده نگردیده است). با ترسیم مشتق فشار بدون بعد بر حسب زمان بدون بعد در مختصات کارترین، می توان مقدار

۲- داده‌های مشتق اختلاف فشار بر حسب زمان برای آزمایش مربوطه توسط روش‌های عددی موجود به دست می‌آید.

۳- با استفاده از روابط زیر، پارامترهای مشتق اختلاف فشار و زمان به مقادیر بدون بعد آنها تبدیل می‌شود:

$$\frac{\partial p_D}{\partial(\ln t_D)} = \frac{2\pi k_f h}{q\mu B} \left( t \frac{\partial \Delta p_{wf}}{\partial t} \right) \quad (10)$$

$$t_D = \frac{k_f}{\mu(\Phi c_t) t r_w^2} \quad (11)$$

۴- ناحیه شروع جریان گذار از ماتریس به شکاف بر روی داده‌های مشتق فشار شناسایی شده و نمودار  $\frac{\partial p_D}{\partial(\ln t_D)}$  بر حسب  $t_D$  در مختصات کارتزین رسم می‌شود.

۵- بهترین خط راست از بین نقاط ترسیمی عبور داده شده و با استفاده از شیب خط و معادله ۴ مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  برای آزمایش مربوطه محاسبه می‌گردد.

- آزمایش ساخت فشار

۱- مراحل ۱ تا ۵ مربوط به آزمایش تخلیه برای آزمایش ساخت فشار نیز انجام می‌شود. تنها تفاوت موجود این است که برای محاسبه اختلاف فشار به جای فشار اولیه مخزن از فشار چاه در ابتدای آزمایش ساخت فشار استفاده می‌شود.

۲- مقدار  $\omega$  با استفاده از معادله ۹ تخمین زده می‌شود.

۳- با استفاده از مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  حاصل شده در مرحله اول و مقدار  $\omega$  به دست آمده از مرحله ۲، مقدار  $\lambda$  برای آزمایش ساخت فشار محاسبه می‌گردد.

چنانکه از روابط اشاره شده مشخص است، جهت تولید داده‌های مشتق فشار و زمان بدون بعد توسط معادلات ۱۰ و ۱۱ تراوایی شکاف مورد نیاز می‌باشد. اما از طرفی در هر ۲ معادله ۱۰ و ۱۱، ترم  $\frac{k_f}{\mu}$  جهت به دست آوردن پارامترهای بدون بعد، می‌بایست در پارامترهای دارای بعد ضرب می‌شود. از این رو، ترم  $\frac{k_f}{\mu}$  باعث جا به جایی نمودار  $t \frac{\partial \Delta p_{wf}}{\partial t}$  بر حسب  $t$  در صفحه مختصات می‌گردد.

برای زمان‌های زیاد تولید، قبل از آزمایش ساخت فشار، ترم‌های  $Ei$  حاوی  $t_{pD}$  به سرعت به سمت صفر میل می‌کنند و معادله زیر حاصل می‌شود:

$$p_{DBu} = 0.5 \left[ \ln \left( \frac{t_{pD} \Delta t_D}{t_{pD} + \Delta t_D} \right) - Ei \left( -\frac{\lambda(\Delta t_D)}{(1-\omega)} \right) + Ei \left( -\frac{\lambda(\Delta t_D)}{\omega(1-\omega)} \right) + 0.80908 \right] + S \quad (7)$$

ترم  $\frac{t_{pD} \Delta t_D}{t_{pD} + \Delta t_D}$  زمان برهم نهی<sup>۱</sup> می‌باشد. در صورتی که  $t_{pD} \gg \Delta t_D$  باشد، این ترم به صورت  $\Delta t_D$  ساده می‌شود. در این حالت می‌توان معادله ۷ را به شکل زیر نوشت:

$$p_{DBu} = 0.5 \left[ \ln(\Delta t_D) - Ei \left( -\frac{\lambda(\Delta t_D)}{(1-\omega)} \right) + Ei \left( -\frac{\lambda(\Delta t_D)}{\omega(1-\omega)} \right) + 0.80908 \right] + S \quad (8)$$

چنان که مشخص است، مشتق فشار بدون بعد نسبت به لگاریتم زمان از معادله بالا همان معادله مربوط به آزمایش تخلیه فشار (معادله ۳) می‌باشد. بنابراین روش ذکر شده برای هر دو آزمایش تخلیه فشار و ساخت فشار کاربرد دارد.

علاوه بر این تیاب و ایگبکوی در آزمایش‌های ساخت فشار، معادله زیر را برای تخمین  $\omega$  ارائه نمودند که مستقل از مختصات نقطه عطف در نمودار نیمه لگاریتمی می‌باشد [۲۳]:

$$\omega = \frac{10^{p_i - p_{FF1}/m}}{1 - 10^{p_i - p_{FF1}/m}} \quad (9)$$

بنابراین، با استفاده از معادلات (۴) و (۹) می‌توان مقادیر مجزای  $\lambda$  و  $\omega$  را برای آزمایش‌های ساخت فشار محاسبه کرد. این در حالی است که برای آزمایش تخلیه، تنها تخمین مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  توسط روش ارائه شده امکان‌پذیر می‌باشد.

با توجه به نکات ذکر شده مراحل کلی جهت استفاده از روش جدید به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

- آزمایش تخلیه فشار  
۱- نمودار نیمه لگاریتمی فشار- زمان را ترسیم نموده و با استفاده از شیب خط راست اولیه، تراوایی شکاف محاسبه می‌شود.

جدول ۱- خواص سنگ وسیال به کار رفته در شبیه‌سازی چاه‌آزمایی (آزمایش‌های تخلیه فشار و ساخت فشار)

مقدار	خواص سنگ وسیال
$7/35 \times 10^{-5}$	تراکم‌پذیری کل، (1/atm)
۰/۷	ویسکوزیته نفت مخزن، (cP)
۱/۱۵	ضریب حجمی نفت سازند، (cc)/(cc) <sub>ST</sub>
۱۱۰۴/۱	دبی سرچاهی، (cc/sec)
۱۲۱۹/۲	ضخامت مفید، (cm)
۰/۲۰	تخلخل کل
۷/۶۲	شعاع چاه، (cm)
۰/۰۲۵	تراوایی شکاف، (darcy)
۳۴۰/۱۴	فشار اولیه، (atm)
$5 \times 10^{-8}$	ضریب جریان درون تخلخلی ( $\lambda$ )
۰/۰۵	نسبت ظرفیت ذخیره شکاف ( $\omega$ )

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ناحیه جریان گذار به صورت کامل سپری نشده است. بنابراین، امکان یافتن پارامترهای  $\lambda$  و  $\omega$  توسط روش‌های مبتنی بر نقطه عطف وجود ندارد. بر همین اساس، محاسبه  $\frac{\lambda}{\omega}$  با استفاده از روش ارائه شده در این مقاله انجام می‌شود. برای این منظور، ابتدا داده‌های مشتق فشار مربوط به شروع جریان گذار انتخاب می‌گردد (شروع تقریبی ناحیه جریان گذار در شکل ۲ نشان داده شده است). داده‌های مشتق فشار توسط خواص سنگ و سیال ارائه شده در جدول ۱ و طبق معادلات مربوطه، به مشتق فشار بدون بعد و زمان بدون بعد تبدیل می‌شوند. سپس، داده‌های مشتق فشار بدون بعد نسبت به زمان بدون بعد در مختصات کارتزین رسم شده و بهترین خط راست از بین نقاط انتخابی عبور داده می‌شود (شکل ۳). با استفاده از معادله (۲) و شیب خط راست رسم شده در شکل ۳، مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{-\lambda}{2\omega} = -4.5083 \times 10^{-7}$$

$$\frac{\lambda}{\omega} = 0.901 \times 10^{-6}$$

توجه کنید که مقدار واقعی  $\frac{\lambda}{\omega}$  برای آزمایش چاه آزمایی برابر با  $1 \times 10^{-6}$  است.

بنابراین تأثیری در شیب خط حاصل شده در معادله ۴ نخواهد داشت و تنها برحسب تغییر مقدار عرض از مبدا نمودار می‌گردد. لذا می‌توان گفت مقادیر غیردقیق تراوایی شکاف، تأثیری در مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  تخمینی ندارد.

## نتایج و بحث

اعتبارسنجی روش ارائه شده در این مقاله با استفاده از شبیه‌سازی چاه آزمایی توسط نرم افزار Pansystem انجام شده است. دو مورد آزمایش تخلیه فشار و یک مورد آزمایش ساخت فشار با خواص سنگ و سیال یکسان شبیه‌سازی شده است. برای آزمایش تخلیه فشار تنها مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  با استفاده از روش جدید محاسبه گردیده است؛ در حالی که برای آزمایش ساخت فشار پارامترهای  $\lambda$  و  $\omega$  به صورت مجزا تخمین زده شده‌اند. همچنین، برای آزمایش ساخت فشار مقدار  $\lambda$  با استفاده از روش تیاب و ایگبوکوی محاسبه شده و با مقدار تخمین زده شده توسط روش جدید مقایسه شده است. به منظور اعتبارسنجی روش جدید، یک مورد آنالیز داده‌های چاه آزمایی واقعی نیز، با استفاده از روش جدید انجام شده است. آزمایش مورد نظر یک آزمایش تخلیه فشار می‌باشد. داده‌های چاه آزمایی مربوط به این آزمایش از مقاله تیاب و ایگبوکوی استخراج شده است [۲۳].

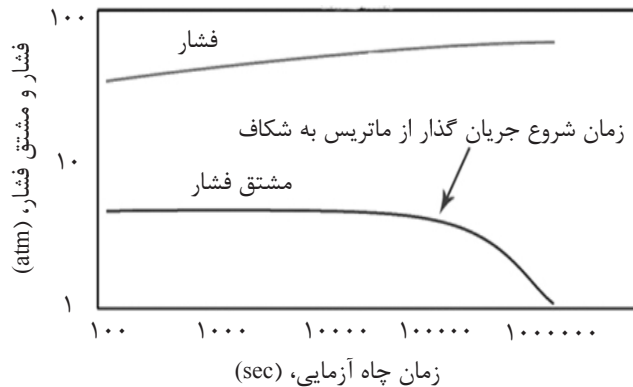
## شبیه‌سازی چاه آزمایی با استفاده از نرم‌افزار

### Pansystem

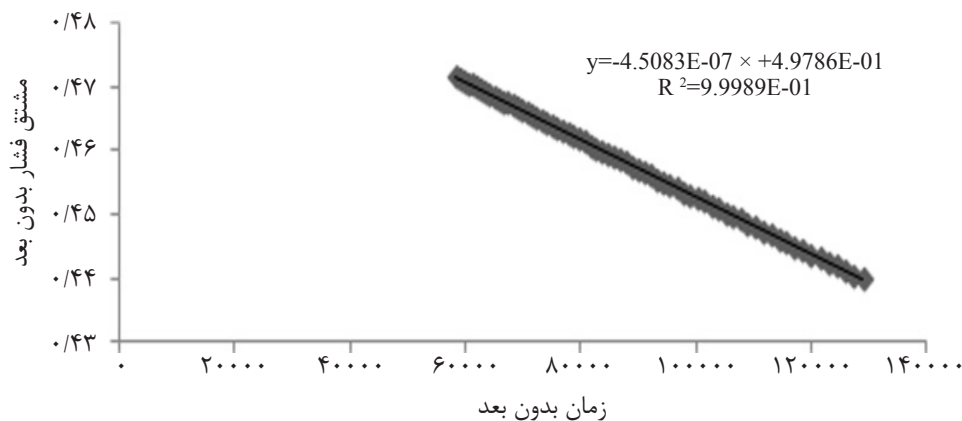
دو مورد آزمایش تخلیه فشار و یک مورد آزمایش ساخت فشار با نرم افزار Pansystem با استفاده از خواص سنگ وسیال موجود در جدول ۱ شبیه‌سازی شده است. در آزمایش دوم تخلیه فشار، اثر ذخیره چاه<sup>۱</sup> بر روی داده‌های چاه آزمایی در نظر گرفته شده است.

شبیه‌سازی آزمایش تخلیه اول با دبی ۱۱۰۴/۱ cc/sec در چاه مورد نظر انجام شده است. شکل ۲ منحنی مشتق فشار را برای این آزمایش نشان می‌دهد.





شکل ۲- نمودار لگاریتمی فشار و مشتق فشار برای شبیه‌سازی چاه آزمایشی انجام شده (آزمایش تخلیه فشار)



شکل ۳- ترسیم مشتق فشار در برابر زمان چاه آزمایشی (مختصات کارترین) برای آزمایش تخلیه فشار شبیه‌سازی شده

نسبت ظرفیت ذخیره شکاف ( $\omega$ ): ۰/۰۰۲

شکل ۴ نمودار لگاریتمی مشتق فشار بر حسب زمان را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل نیز مشخص است، ناحیه جریان شعاعی درون شکاف و ناحیه جریان گذار به خوبی بر روی نمودار مشتق فشار ظاهر شده‌اند. مقادیر  $\lambda$  و  $\omega$  در این شبیه‌سازی به گونه‌ای انتخاب گردید که اثر جریان شعاعی درون شبکه شکاف و ناحیه جریان گذار قابل مشاهده باشد. در عین حال این مقادیر غیرواقعی نمی‌باشند، زیرا دامنه  $\lambda$  و  $\omega$  ارائه شده توسط سرا و همکارانش و همچنین لی و همکارانش مقادیر  $\lambda$  و  $\omega$  ارائه شده در این مقاله را دربر می‌گیرد [۸ و ۱۰]. در شکل ۵ داده‌های مربوط به ناحیه جریان گذار اولیه استخراج شده و به صورت بدون بعد بر روی نمودار کارترین ترسیم شده است.

این بدین معنی است که اختلاف مقدار تخمین زده شده و مقدار واقعی چیزی در حدود  $10^{-7}$  می‌باشد (خطای نسبی در حدود ۱۰ درصد). همان‌طور که مشاهده می‌گردد، روش ارائه شده به خوبی قادر به پیش‌بینی نسبت  $\frac{\lambda}{\omega}$  می‌باشد. تخمین  $\frac{\lambda}{\omega}$  توسط روش ارائه شده در حالی انجام می‌شود که هنوز می‌نیمم مشتق فشار<sup>۱</sup> در نمودار لگاریتمی مشتق فشار- زمان ظاهر نگردیده است.

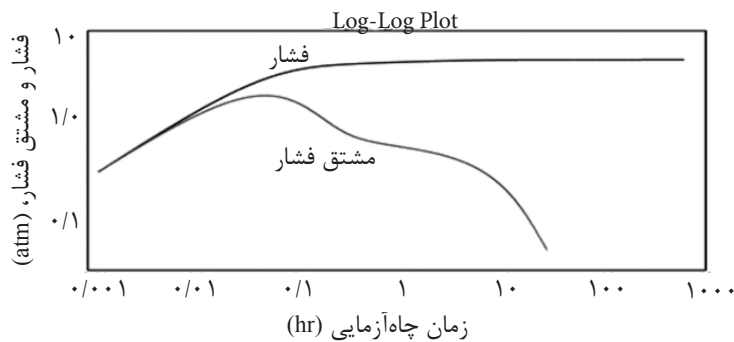
جهت بررسی اثر ذخیره چاه بر روی کیفیت نتایج، شبیه‌سازی آزمایش تخلیه فشار قبلی با داده‌های جدید انجام شد. اکثر خواص سنگ و سیال مورد استفاده همان خواص ارائه شده در جدول ۱ می‌باشد و تنها پارامترهای زیر تغییر کرده است:

تراوایی شکاف: ۵۰ md

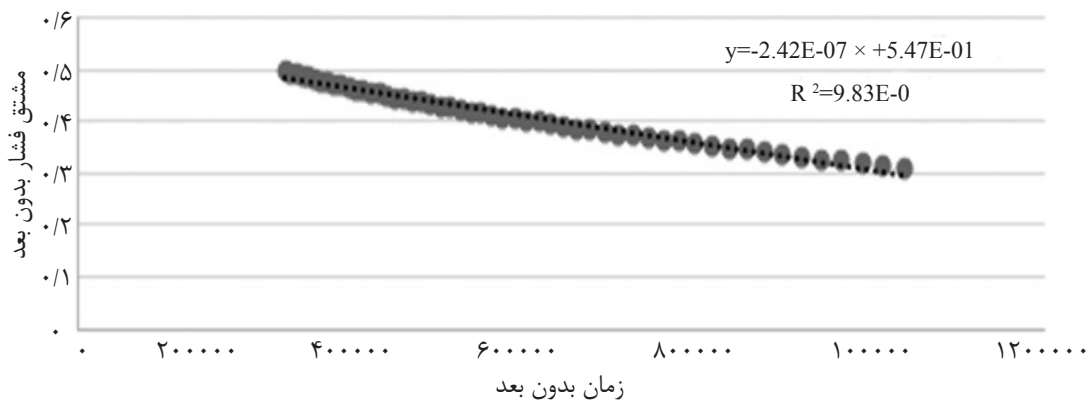
ضریب ذخیره چاه: ۰/۰۰۴ bbl/psi

ضریب جریان درون تخلخلی ( $\lambda$ ):  $10^{-9}$

1. Minimum Pressure Derivative



شکل ۴- نمودار لگاریتمی فشار و مشتق فشار برای آزمایش تخلیه فشار دوم (در نظر گرفتن اثر ذخیره چاه)



شکل ۵- مشتق فشار بدون بعد بر حسب زمان بدون بعد برای آزمایش تخلیه فشار دوم

۱ توسط نرم افزار Pansystem انجام شده است. برای آزمایش ساخت فشار، مقدار دبی تولیدی قبل از شروع آزمایش برابر  $1104/1$  cc/sec فرض گردید و تولید به مدت ۶۰۰ ساعت از چاه مورد نظر انجام گرفت. در واقع این آزمایش، ادامه آزمایش تخلیه فشار قبلی می‌باشد. زمان چاه آزمایشی به گونه‌ای تنظیم گردید که نقطه می‌نیم مشتق فشار در نمودار لگاریتمی مشتق فشار- زمان مشاهده نگردد. همانند آزمایش تخلیه فشار، داده‌های مشتق فشار- زمان توسط تراوایی حاصل از آنالیز خط راست اولیه و سایر خواص سنگ و سیال مخزن (ارائه شده در جدول ۱) به مقادیر مشتق فشار بدون بعد بر حسب زمان بدون بعد تبدیل گردید. از فشار موجود در شروع آزمایش ساخت فشار، جهت تولید داده‌های مشتق اختلاف فشار استفاده شد. شکل ۶ خط راست برآزش شده توسط روش جدید را بر روی ناحیه جریان گذار نشان می‌دهد.

با استفاده از شیب خط به دست آمده، مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{-\lambda}{2\omega} = -2.42 \times 10^{-7}$$

$$\frac{\lambda}{\omega} = 4.84 \times 10^{-7}$$

این در حالی است که مقدار واقعی  $\frac{\lambda}{\omega}$  که برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است، برابر با  $5 \times 10^{-7}$  می‌باشد. بنابراین خطای نسبی بسیار کوچک و در حد  $3/2\%$  می‌باشد. بدین ترتیب با وجود اثر ذخیره چاه، باز هم روش مورد نظر به خوبی قادر به تخمین مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  می‌باشد. دلیل اینکه در آزمایش تخلیه فشار اول، با وجود عدم حضور اثر ذخیره چاه خطای بیشتری در مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  حاصل شده را می‌توان به عدم انتخاب صحیح ناحیه جریان گذار اولیه برای این آزمایش نسبت داد.

شبیه‌سازی یک آزمایش ساخت فشار نیز، با استفاده از خواص سنگ و سیال ارائه شده در جدول

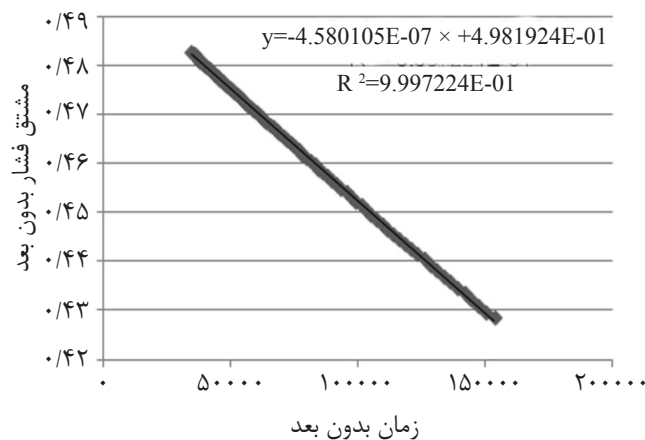


موجود، مقدار  $\lambda$  با استفاده از روش ارائه شده توسط تیاب و ایگبوکوی نیز، تخمین زده شده است. روش آنها بر مبنای استفاده از زمان اتمام خط راست اولیه در نمودار نیمه لگاریتمی فشار- زمان بوده و مشاهده نقطه عطف ضرورتی ندارد [۲۳]. طبق اطلاعات ارائه شده در جدول ۲ مشاهده می‌گردد که روش جدید ارائه شده در این مقاله خطای کمتری در تخمین مقدار  $\lambda$  نسبت به روش مبتنی بر زمان اتمام خط راست اولیه دارد.

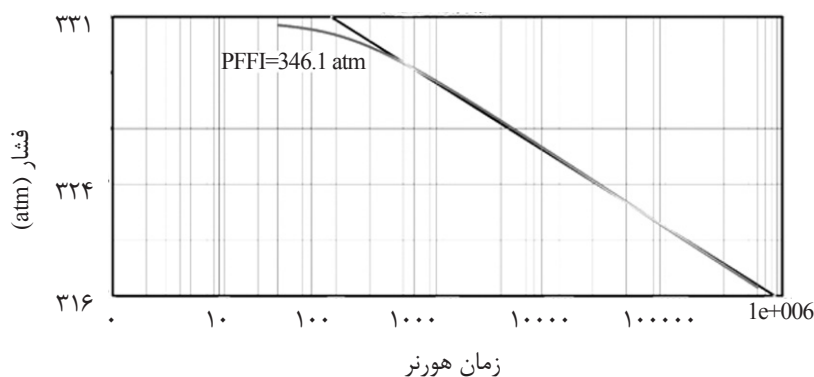
برای تخمین مقدار  $\lambda$  با استفاده از نقطه عطف موجود در نمودار نیمه لگاریتمی فشار- زمان، مدت زمان آزمایش ساخت فشار مذکور، به تدریج افزایش می‌یابد تا نقطه می‌نیمم مشتق فشار در نمودار لگاریتمی مشتق فشار- زمان (معادل نقطه عطف در نمودار نیمه لگاریتمی فشار- زمان) مشاهده گردد (شکل ۸).

با استفاده از شیب خط راست رسم شده و معادله (۴)، مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  برابر با  $0.916 \times 10^{-6}$  محاسبه می‌گردد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  تخمین زده شده برای آزمایش ساخت فشار، بسیار نزدیک به مقدار واقعی آن است.

اکنون با استفاده از معادله ۹، مقدار  $\omega$  توسط مختصات خط راست اولیه در نمودار هورنر تخمین زده می‌شود. شکل ۷ نمودار هورنر را به همراه پارامترهای استخراجی از آنالیز خط راست نشان می‌دهد. با توجه به پارامترهای حاصل از آنالیز نمودار هورنر و با استفاده از معادله (۹)، مقدار  $\omega$  برابر با  $0.074$  محاسبه گردید. با استفاده از مقدار  $\omega$  محاسبه شده و مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  تخمین زده شده توسط روش جدید، می‌توان مقدار  $\lambda$  را محاسبه نمود. مقدار محاسبه شده در جدول ۲ ارائه گردیده است. به منظور مقایسه با دیگر روش‌های



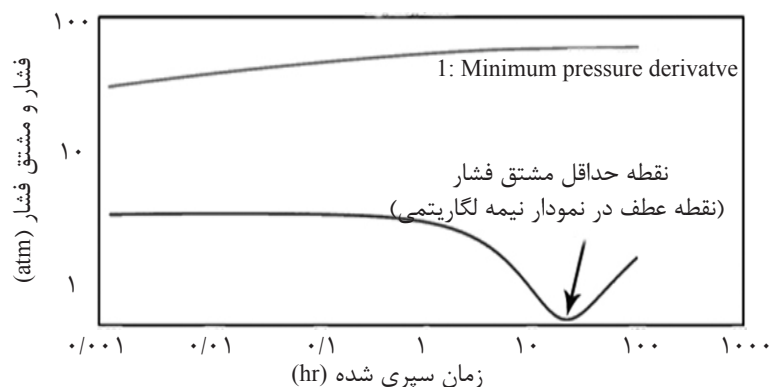
شکل ۶- خط راست برازش شده با استفاده از روش جدید برای آزمایش ساخت فشار نامم



شکل ۷- نمودار هورنر برای آزمایش ساخت فشار شبیه‌سازی شده

جدول ۲- مقایسه مقادیر  $\lambda$  تخمین زده شده توسط روش جدید، روش تیاب و ایگبوکوی و روش مبتنی بر نقطه عطف

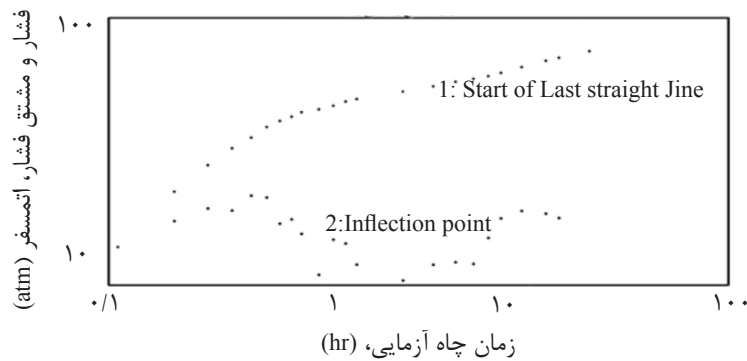
مقدار تخمین زده شده $\lambda$ توسط روش جدید	مقدار تخمین زده شده $\lambda$ با استفاده از نقطه عطف	مقدار تخمین زده شده $\lambda$ توسط روش تیاب و ایگبوکوی	خطای نسبی، خطای نسبی، (روش تیاب و ایگبوکوی)	خطای نسبی، (روش مبتنی بر نقطه عطف)	خطای نسبی، (روش جدید)
$6/78 \times 10^{-8}$	$6 \times 10^{-8}$	$0/225 \times 10^{-8}$	۹۵/۵	۱۹/۹	۳۵/۶



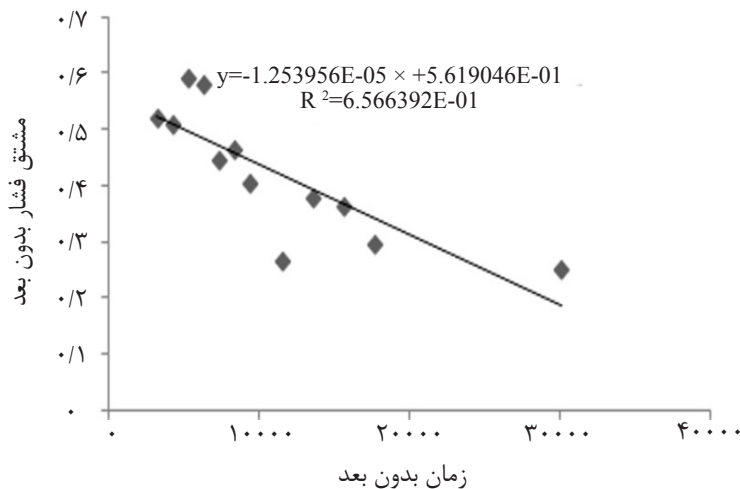
شکل ۸- نمودار لگاریتمی فشار و مشتق فشار برای آزمایش ساخت فشار شبیه‌سازی شده (زمان چاه آزمایشی به تدریج افزایش یافت تا نقطه حداقل مشتق فشار در داده‌ها مشاهده گردد)

به منظور ارزیابی روش جدید با داده‌های فشاری واقعی، یک آزمایش چاه آزمایشی واقعی نیز از مقاله تیاب و ایگبوکوی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش مورد نظر یک آزمایش تخلیه می‌باشد که در مقاله تیاب و ایگبوکوی به‌عنوان مثال چهارم ذکر شده است [۲۳]. در این آزمایش علی‌رغم وجود اثر ذخیره چاه در ابتدای چاه آزمایشی، اثر جریان شعاعی درون شکاف و جریان درون تخلخلی نیز، در داده‌های مشتق فشار ظاهر شده است. اگرچه آزمایش مذکور به صورت کامل تا نقطه حداقل فشار می‌نیمد در داده‌های مشتق فشار- زمان پیش رفته بود، اما با در نظر گرفتن داده‌های جریان گذار به صورت ناقص و برآزش یک خط راست بر روی داده‌های اولیه جریان گذار در مختصات کارتزین، مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  با استفاده از روش جدید تخمین زده شد. شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب داده‌های مشتق فشار مربوط به آزمایش و برآزش خط راست توسط روش جدید را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آنالیز خط راست در روش جدید با مقادیر به دست آمده توسط تیاب و ایگبوکوی در جدول ۳ مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده توسط روش جدید برای آزمایش چاه آزمایشی ناتمام، سازگاری مناسبی با نتایج به دست آمده از آنالیز مربوط به آزمایش کامل چاه آزمایشی دارد.

به منظور ارزیابی روش جدید با داده‌های فشاری واقعی، یک آزمایش چاه آزمایشی واقعی نیز از مقاله تیاب و ایگبوکوی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش مورد نظر یک آزمایش تخلیه می‌باشد که در مقاله تیاب و ایگبوکوی به‌عنوان مثال چهارم ذکر شده است [۲۳]. در این آزمایش علی‌رغم وجود اثر ذخیره چاه در ابتدای چاه آزمایشی، اثر جریان شعاعی درون شکاف و جریان درون تخلخلی نیز، در داده‌های مشتق فشار ظاهر شده است. اگرچه آزمایش مذکور به صورت کامل تا نقطه حداقل فشار می‌نیمد در داده‌های مشتق فشار- زمان پیش رفته بود، اما با در نظر گرفتن داده‌های جریان گذار به صورت ناقص و برآزش یک خط راست بر روی داده‌های



شکل ۹- داده‌های فشار و مشتق فشار برای آزمایش تخلیه فشار گرفته شده از [۲۳]



شکل ۱۰- برازش خط راست با داده‌های فشاری مربوط به داده‌های اولیه ناحیه جریان گذار (آزمایش تخلیه فشار، تیاب و ایگبوکوی [۲۳])

جدول ۳- مقایسه نتایج به دست آمده از روش جدید با مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  حاصل شده توسط تیاب و ایگبوکوی برای آزمایش تخلیه فشار [۲۳]

مقدار $\frac{\lambda}{\omega}$ (روش جدید)	مقدار $\frac{\lambda}{\omega}$ (محاسبه شده توسط تیاب و ایگبوکوی)
$۲/۵۱ \times ۱۰^{-۵}$	$۳/۰۵ \times ۱۰^{-۵}$

### نتیجه‌گیری

فشار تنها مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  تخمین زده می‌شود. در حالی که برای آزمایش ساخت فشار مقادیر  $\lambda$  و  $\omega$  به صورت مجزا به دست می‌آید. به شرط در دسترس بودن ظرفیت ذخیره شکاف و شکل هندسی بلوک‌ها، می‌توان مقدار تراوایی ماتریس سنگ را نیز محاسبه نمود.

۳. در این روش بر این است که نقطه عطف در داده‌های فشاری نمودار نیمه لگاریتمی قابل مشاهده نیست. بنابراین، قبل از به کار بردن این روش باید خاصیت شکاف‌دار بودن مخزن تایید شده باشد، زیرا عموماً رفتار فشاری تخلخل دو گانه از طریق منحنی S شکل شناسایی می‌شود.

۱. با استفاده از تقریب تیلور برای مشتق فشار به دست آمده از مدل وارن و روت، معادله جدیدی جهت تخمین پارامترهای مهم شکاف ( $\lambda$  و  $\omega$ ) در آزمایش‌های ناتمام چاه‌آزمایی در این پژوهش ارائه گردید. تنها شرط لازم برای استفاده از این روش، وجود خط راست اولیه و زمان‌های اولیه مربوط به ناحیه جریان گذار می‌باشد. همچنین در ناحیه جریان گذار نیازی به مشاهده نقطه عطف در نمودار نیمه لگاریتمی فشار- زمان نیست.

۲. روش مذکور برای آزمایش‌های تخلیه فشار و ساخت فشار کاربرد دارد. برای آزمایش‌های تخلیه

$ct =$  تراکم‌پذیری کل (1/atm)  
 $h =$  ضخامت مفید مخزن (cm)  
 $k =$  تراوایی (darcy)  
 $m =$  شیب خط راست در نمودار هورنر برای آزمایش ساخت فشار (atm/cycle)  
 $p_D =$  فشار بدون بعد (-)  
 $p_{FFI} =$  فشار برون‌یابی شده در نمودار هورنر برای زمان هورنر  $1/0 =$   
 $p_i =$  فشار اولیه مخزن (atm)  
 $q =$  دبی سر چاهی (cc/sec)  
 $S =$  ضریب پوسته (-)  
 $t =$  زمان چاه آزمایشی (sec)  
 $t_D =$  زمان بدون بعد بر مبنای ظرفیت ذخیره کل سیستم (-)  
 $t_{pD} =$  زمان بدون بعد بر مبنای زمان تولید قبل از آزمایش ساخت فشار (-)

### حروف یونانی

$\lambda =$  ضریب جریان درون تخلخلی (-)  
 $\omega =$  نسبت ظرفیت ذخیره شکاف (-)  
 $\mu =$  ویسکوزیته (cP)  
 $\Phi =$  تخلخل (-)  
 $\Delta t_D =$  زمان بدون بعد برای آزمایش ساخت فشار (-)  
 $\alpha =$  ضریب شکل ماتریس سنگ (1/cm)  
 $\Delta P_{wf} =$  افت فشار جداره چاه (atm)  
 $\pi =$  عدد پی (۳/۱۴)

### زیرنویس‌ها

$D =$  بدون بعد  
 $f =$  شکاف  
 $m =$  ماتریس سنگ

این امر می‌تواند توسط اطلاعات نمودارگیری چاه، زمین‌شناسی منطقه و یا چاه آزمایشی‌های مربوط به چاه‌های مجاور صورت گیرد. بنابراین ذکر این نکته ضروری است که وقتی با داده‌های ناقص چاه‌آزمایی مواجه می‌شویم، عدم قطعیت در تعیین نوع مدل مخزن افزایش می‌یابد.

۴- دو مورد شبیه‌سازی چاه‌آزمایی انجام شده برای آزمایش‌های تخلیه فشار و ساخت فشار، روش ارائه شده در این مقاله را تایید می‌کنند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  تخمین زده شده برای آزمایش تخلیه فشار، اختلاف بسیار اندکی با مقدار  $\frac{\lambda}{\omega}$  استفاده شده جهت شبیه‌سازی چاه‌آزمایی دارد. هم‌چنین برای آزمایش ساخت فشار شبیه‌سازی شده، مقدار  $\lambda$  تخمین زده شده بسیار به مقدار تخمین زده شده از طریق نقطه عطف نزدیک می‌باشد. این در حالی است که خطای روش تیاب و ایگبوکوی در تخمین مقدار  $\lambda$  برای آزمایش‌های ناتمام چاه‌آزمایی در مخازن شکاف‌دار (عدم مشاهده نقطه عطف در نمودار نیمه لگاریتمی فشار- زمان) بسیار بالاست.

۵- دقت این روش رابطه مستقیم با کیفیت داده‌های فشاری در ناحیه جریان گذار اولیه (زمان‌های شروع جریان درون تخلخلی از ماتریس به شکاف) دارد. با وجود این، با اعمال این تکنیک بر روی داده‌های واقعی چاه‌آزمایی مشخص گردید که روش ارائه شده برای آزمایش‌های واقعی چاه‌آزمایی که حاوی نویز می‌باشند نیز، دقت قابل قبولی را ارائه می‌کند. بنابراین روش ارائه شده در این مقاله را می‌توان به عنوان یک ابزار قدرتمند جهت آنالیز داده‌های چاه‌آزمایی در آزمایش‌های ناتمام چاه‌آزمایی برای مخازن شکاف‌دار در نظر گرفت.

### علائم و متغیرها

$B =$  ضریب حجمی نفت سازند ((cc)/(cc)ST)

### مراجع

- [1]. Cinco-Ley H., "Well-test analysis for naturally fractured reservoirs", J. Pet Tech., Vol. 48, No. 1, pp. 51-54, 1996.
- [2]. Izadi M. and Yildiz T., "Transient flow in discretely fractured porous media", SPE Rocky Mountain Oil & Gas Technology Symposium, USA, 2007.

- [3]. Schlumberger Characterization of Fractured Reservoirs, [http://www.slb.com/~media/Files/industry\\_challenges/carbonates/brochures/cb\\_characterization\\_09os0003.pdf](http://www.slb.com/~media/Files/industry_challenges/carbonates/brochures/cb_characterization_09os0003.pdf), 2008
- [4]. Pulido H., Samaniego F., Rivera J., Diaz F., and Galicia G., *On a well-test pressure theory of analysis for naturally fractured reservoirs, considering transient interporosity matrix, microfractures, vugs, and fractures flow*, First International Oil Conference and Exhibition, Mexico, 2006.
- [5]. Warren J. E. and Root P. J., "The behavior of naturally fractured reservoirs", SPE J., Vol. 3, No. 3, pp. 245-255, 1996.
- [6]. De Swaan O. A., "Analytic solutions for determining naturally fractured reservoir properties by well testing", SPE J., Vol. 16, No. 3, pp. 117-122, 1976.
- [7]. Najurieta H. L., "A theory for pressure transient analysis in naturally fractured reservoirs", J. Pet. Tech., Vol. 32, No. 7, pp. 1241-1250, 1980.
- [8]. Serra K., Reynolds A. C. and Raghavan, R., "New pressure transient analysis Methods for Naturally Fractured Reservoirs", J. Pet. Tech., Vol. 35, No. 12, pp. 2271-2283, 1983.
- [9]. Streltsova T. D., "Well pressure behavior of a naturally fractured reservoir", SPE J., Vol. 23, No. 5, pp. 769-780, 1983.
- [10]. Lai C. H., Bodvarsson G. S., Tsang C. F., and Witherspoon P. A., *A new model for well test data analysis for naturally fractured reservoirs*, California Regional Meeting, California, 1983.
- [11]. Gringarten A. C., "Interpretation of tests in fissured and multilayered reservoirs with double-porosity behavior: theory and practice", J. Pet. Tech., Vol. 36, No. 4, pp. 549-564, 1984.
- [12]. Aguilera R., Franks L. A. and AU D. A., "Well test analysis of a naturally fractured gas reservoir- a case history", J. Pet. Tech., Vol. 31, No. 4, pp. 46-51, 1992.
- [13]. Crawford G. E., Hagedorn A. R. and Piece A. E., "Analysis of pressure buildup tests in a naturally fractured reservoir", J. Pet. Tech., Vol. 28, No. 11, pp. 1295-1300, 1976.
- [14]. Chen C. C., Alam J., Vozniak J. P., and Blanton T. L., "Evaluation of naturally fractured gas shale production utilizing multiwell transient tests: a field study", SPE/DOE/GRI Unconventional Gas Recovery Symposium, San-peterzborg, 1984.
- [15]. Morton K. L., de Brito Nogueira P., Booth R., and Kuchuk F. J., *Integrated interpretation for pressure transient tests in discretely fractured reservoirs*, EAGE Annual Conference & Exhibition, Denmark, 2012.
- [16]. Kuchuk F. J. and Biryukov D., *Transient pressure test interpretation for continuously and discretely fractured reservoirs*, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Texas, 2012.
- [17]. Laudeman S. K. and Ershaghi I., *Pressure buildup analysis in a naturally fractured shale reservoir*, 56<sup>th</sup> Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of AIME, Texas, 1981.
- [18]. Adams A. R., Ramey H. J. and Burgess R. J., "Gas well testing in a fractured carbonate reservoir", J. Pet. Tech., Vol. 20, No. 10, pp. 1187-1194, 1968.
- [19]. Bourdet D. and Gringarten A. C., *Detremination of fissured Volume & Block Size in Fractured Reservoirs by Type-Curve Analysis*, Social of Petroleum Engineering Annual Technical Conference, Dallas, 1980.

- [20]. Bourdet D., Ayoub J. A., Kniazeff V., Pirard Y. M., and Whittle T. M., "*Interpreting well tests in fractured reservoirs*", World Oil, Vol. 197, No. 5, pp.77-87, 1983.
- [21]. Reynolds A. C., Chang W. L., Yeh N., and Raghavan R., "*Wellbore pressure response in naturally fractured reservoirs*", J. Pet Tech., Vol. 37, No. 5, pp. 908-920, 1985.
- [22]. Uldrich D. O., Ershaghi I., "*A method for estimating the interporosity flow parameter in naturally fractured reservoirs*", SPE J., Vol. 19, No. 5, pp. 324-332, 1979.
- [23]. Tiab D. and Igbooy A., "*Fracture porosity of naturally fractured reservoirs*", First International Oil Conference & Exhibition, Mexico, 2006 .
- [24]. Onur M. and Satman A., "*New type curves to determine naturally fractured reservoir parameters*", Published by SPE J. 23830- MS, 1991.