

تفسیر داده‌های اندازه‌گیری شده در عملیات آزمایش مکرر سازند جهت تخمین سطوح تماس سیالات و تشخیص وجود Compositional Grading به روش فشار مازاد (Excess Pressure)

سعید خواجهونی، مهدی قسامی پور، مدیریت اکتشاف

چکیده

نمودارهای فشار-عمق، در ارزیابی مخازن جهت به‌دست آوردن سطوح تماس، ارتباط هیدرودینامیکی لایه‌ها و تغییر خواص سیال در عمق، کاربردهای زیادی دارند. تعیین سطوح تماس در مخازن هیدروکربوری جهت محاسبه مقدار هیدروکربور درجا و برنامه‌ریزی‌های توسعه یک میدان بسیار حائز اهمیت است، به طوری که عدم قطعیت در نوع سیالات درجا و سطوح آن‌ها اثرات مهمی در تخمین مقدار نفت و گاز درجا و عمق تکمیل چاه خواهد داشت. جهت ارزیابی مخازن از این دیدگاه، لازم است پروفایل فشاری بر حسب عمق را داشته باشیم که نیازمند راندن ابزار آزمایش فشار مکرر است. داده‌های این ابزار به شدت تحت تأثیر عوامل مختلف قرار گرفته و باعث می‌شوند فشارهای قرائت شده صحیح نباشند و ما را در تفسیر آن‌ها دچار مشکل کنند. اهمیت آنالیز دقیق اطلاعات به‌دست آمده از آزمایش مکرر فشار سازند زمانی بیشتر می‌شود که اطلاعات، مربوط به چاه اکتشافی باشد؛ چرا که این آزمایش در چاه اکتشافی زمانی انجام می‌شود که هیچ گونه اطلاعاتی از شرایط دینامیکی مخزن در دست نیست و باید براساس نتایج آنالیز داده‌های فشاری و دیگر اطلاعات مانند تفسیر نمودارهای مخزنی، تعداد و فواصل آزمایش‌های ساق‌مته مورد نیاز تعیین گردد. در بعضی از موارد، مشخص شده که تفسیر نمودارهای مخزنی جهت تعیین فواصل آزمایش‌های ساق‌مته و همچنین، تشخیص سطوح تماس به‌تنهایی کافی نبوده و آنالیز دقیق اطلاعات فشاری، در تعیین تکلیف بسیاری از قسمت‌های مبهم مخزن بسیار کمک‌کننده است. در این مقاله، روش فشار مازاد به‌منظور تفسیر داده‌های فشاری معرف گردیده و در ادامه، چند مورد داده‌های واقعی از چاه‌های اکتشافی و توسعه‌ای مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در پایان، نحوه اثبات وجود Compositional Grading در یک مخزن با داشتن داده‌های فشاری و با استفاده از روش معرفی شده بررسی می‌گردد.

واژگان کلیدی | آزمایش مکرر سازند، فشار مازاد، سطوح تماس

مقدمه

پروفایل‌های فشاری و گرادیان سیال، اطلاعات مهمی جهت ارزیابی و مدیریت مخازن به‌همراه داشته و به‌عنوان یک ورودی جهت تصمیم‌گیری‌های استراتژیک تکمیل چاه و برنامه‌های تولیدی نقش مهمی را ایفا می‌کنند [۱]. اطلاع از سطوح تماس و ارتباط هیدرودینامیکی لایه‌های تولیدی در تخمین میزان هیدروکربور درجا، تصمیم‌گیری در مورد نوع تکمیل چاه و نوع تسهیلات سرچاهی، کاربردهای فراوانی دارد که همگی مرهون داشتن پروفایل فشار-عمق می‌باشد (شکل ۱-). همچنین، با داشتن چگالی سیال درجا می‌توان جهت مشخصه‌سازی کامل سیال، از صحت نمونه سیال گرفته شده در حین لایه‌آزمایی اطمینان حاصل کرد.

هدف از انجام آزمایش مکرر سازند، اندازه‌گیری فشار سازند در نقاط مختلف و گرفتن نمونه از سیال مخزن در شرایط مخزنی است. بررسی فشارهای اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف، آنالیز و مقایسه آن‌ها با

یکدیگر و همچنین، مطالعه روند تغییرات فشار در هر نقطه نسبت به زمان در هنگام افت فشار^۲ و ساخت فشار^۳ اطلاعات بسیار مفیدی از خصوصیات سازند را در اختیار مهندس مخزن قرار می‌دهد. به‌طور کلی، هدف از راندن ابزار آزمایش مکرر سازند عبارت است از:

- ۱- تعیین فشار اولیه مخزن
 - ۲- نمونه‌گیری سیال مخزن در شرایط مخزنی
 - ۳- تعیین رژیم‌های فشاری مختلف در یک سازند و تعیین لایه‌های نفوذناپذیر مانع^۴
 - ۴- تخمین سطوح تماس سیال
 - ۵- به‌دست آوردن پروفایل تحرک‌پذیری
- به‌منظور دستیابی به اهداف ذکر شده لازم است که داده‌های آزمایش مکرر سازند تفسیر گردند. روش گرافیکی فشار-عمق رایج‌ترین روش آنالیز این داده‌هاست که جهت تفسیر داده‌های نرمال به کار می‌رود. در این مقاله،

*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (saeed.khajoei@gmail.com)

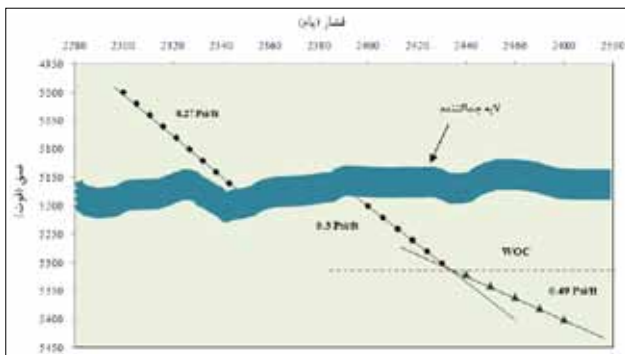


$$\frac{1}{r^2} \frac{d^2 P}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dP}{dr} = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dt} \quad (1)$$

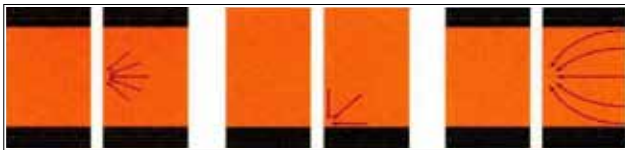
در سیستم شعاعی، معادله نفوذ به صورت معادله ۲- نوشته می شود و رژیم جریانی شعاعی به صورت خط راست با شیب صفر و رژیم جریانی کروی به صورت خط راست با شیب منفی نیم خواهد شد.

$$\frac{1}{r^2} \frac{d^2 P}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dP}{dr} = \frac{1}{\eta} \frac{dP}{dt} \quad (2)$$

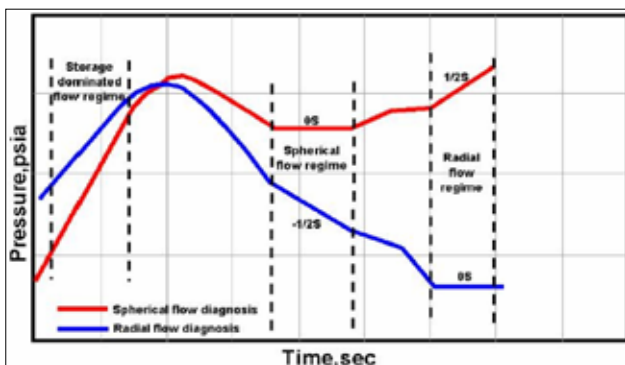
نمودار مشتق فشار در دو سیستم کروی و شعاعی و رفتار رژیم های جریانی در شکل ۳- نشان داده شده است. در ادامه، پدیده هایی که بر روی داده های فشار، تأثیرات منفی می گذارند، با استفاده از نمودار مشتق فشار بررسی می گردند.



شکل ۱ | نمودار فشار-عمق جهت ارزیابی چگالی سیال درجا، ارتباط لایه ها و تعیین سطوح تماس



شکل ۲ | انواع رژیم های جریانی ایجاد شده در آزمایش مکرر سازند-از سمت راست به ترتیب: رژیم دایره ای، نیمه کروی و کروی



شکل ۳ | نمودار مشتق فشار نسبت به دو تابع زمانی کروی و دایره ای

روشنی ارائه می گردد که می تواند داده های غیر نرمال و نرمال را از یکدیگر به خوبی تشخیص داده و در نتیجه، تفسیر ارائه شده از دقت و اعتبار بالاتری برخوردار خواهد بود. داده های غیر نرمال تعدادی از فشارهای اندازه گیری شده هستند که تحت تأثیر عوامل محیطی قرار گرفته و در نتیجه، معتبر نیستند.

۱- انواع رژیم های جریانی ایجاد شده در آزمایش مکرر سازند

برای هر pretest (در دستگاه MDT) بین ۵ تا ۲۰ سی سی از سیال درون سازند به داخل دستگاه جریان پیدا می کند. به دلیل اینکه حجم سیال خارج شده از سازند در مقایسه با حجم کل سازند بسیار کم است، اثر این جریان فقط در ناحیه کوچکی از سازند در اطراف probe مشاهده می شود. رژیم جریانی ایجاد شده معمولاً کروی بوده، اما در صورتی که یک لایه نفوذپذیر در نزدیکی نقطه اندازه گیری باشد، رژیم جریانی نیمه کروی ایجاد می گردد. چنانچه عملیات افت فشار ادامه یافته به طوری که اثر افت فشار به لایه های نفوذپذیر بالا و پایین مخزن برسد؛ رژیم جریان دایره ای نیز مشاهده می گردد [۲]. شکل ۲- انواع رژیم های جریانی ایجاد شده در آزمایش مکرر سازند را نشان می دهد. در مرحله افت فشار، معمولاً عمق بررسی آزمایش، محدود به شعاع کوچک اطراف probe بوده و اطلاعاتی که از این مرحله از آزمایش به دست می آید، فقط بیانگر همان ناحیه محدود از سازند است.

۲- تفسیر نتایج ساخت فشار مربوط به عملیات آزمایش مکرر سازند

به دلیل اینکه مدت زمان جریان در این آزمایش بسیار کوتاه است، داده های به دست آمده ممکن است به شدت تحت تأثیر شرایط اطراف چاه قرار گرفته و تفسیر داده ها را با مشکل مواجه کنند [۳]. بنابراین، همه ی فشارهای اندازه گیری شده، به دلیل شرایط چاه و سنگ مخزن مانند نازک بودن Mud Cake، ناهمگونی در خواص سنگ مخزن و... دارای کیفیت مناسب نبوده و بعضی از آن ها به عنوان نقاط نویز (غیر نرمال) شناخته شده و لازم است جهت ارزیابی دقیق، حذف گردند. نقاطی که به عنوان نویز شناخته می شوند، به دلایل مختلف به وجود آمده که در ادامه، به انواع و دلایل به وجود آمدن آن ها و راه حل برخورد با آن ها در حین عملیات پرداخته می شود. پدیده هایی مانند Supercharging، نشستی پکر، نقاط مترکم، خشک و... باعث می شود که داده ها نویزی گردند. جهت شناسایی این نقاط، یکی از ابزارهایی که بسیار کمک کننده است، نمودار مشتق فشاری است که در دو سیستم کروی و شعاعی رسم می شود و در ابزارهای شرکت شلمبرگر در حین عملیات، قابل مشاهده است. در صورتی که فشار اندازه گیری شده در یک نقطه نرمال باشد، یکی از رژیم های جریانی شعاعی، کروی و یا هر دو در نمودار مشتق آن مشاهده خواهد شد. در سیستم کروی، معادله نفوذ به صورت معادله ۱- نوشته می شود و رژیم جریانی کروی در این سیستم، به صورت خط راست با شیب صفر و رژیم جریانی شعاعی به صورت خط راست با شیب نیم خواهد شد.

مزیت روش ارائه شده نسبت به روش گرافیکی فشار-عمق در این است که داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی فشار در این حالت، نسبت به فشار هیدرواستاتیک، نرمالایز شده و در صورتی که پارامتر دیگری به جز چگالی و عمق (پارامترهای تعیین‌کننده فشار هیدرواستاتیک) بر روی داده‌های فشاری تأثیر گذاشته باشد، به صورت کاملاً واضح در نمودار فشار مازاد بر حسب عمق مشخص می‌گردد. به عبارت دیگر، اختلاف بین نقاط نرمال و غیرنرمال در این روش، به صورت اغراق شده افزایش یافته تا تشخیص آن‌ها راحت‌تر گردد. در واقع، در روش گرافیکی فشار-عمق نیز، اختلاف بین نقاط نرمال و غیرنرمال وجود دارد که تشخیص این اختلاف، بعضی اوقات به راحتی امکان‌پذیر نیست.

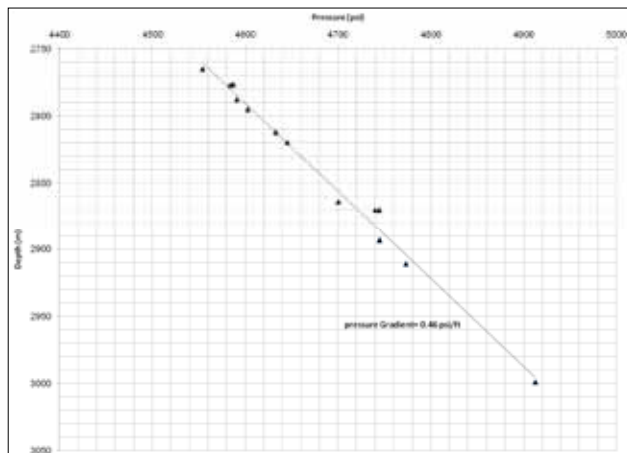
در چاه‌های اکتشافی که معمولاً اطلاعات اولیه از سیال مخزنی نیز در دسترس نیست، برای استفاده از این روش جهت به دست آوردن نوع سیال و سطح تماس سیالات، در ابتدا باید معادله بالا برای هر سه نوع سیال نفت و آب بر اساس گرادیان‌های فشاری رایج آن‌ها (به عنوان مثال $\gamma_o = 0.85$ ، $\gamma_g = 0.1$ ، $\gamma_w = 0.45$ پام بر فوت) نوشته شود.

$$Pd_g = P_g - \gamma_g (D_g - D_d) \quad (6)$$

$$Pd_o = P_o - \gamma_o (D_o - D_d) \quad (7)$$

$$Pd_w = P_w - \gamma_w (D_w - D_d) \quad (8)$$

در شکل ۴- داده‌های فشار مازاد برای نفت، گاز و آب به صورت جداگانه نمایش داده شده است. در ابتدا، لازم است که فازهای موجود در مخزن و موقعیت عمقی آن‌ها تشخیص داده شود و سپس، نقاط فشاری بررسی گردند. از آنجایی که مقدار اولیه برای گرادیان فشاری در نظر گرفته شده برای آب، نفت و گاز در محدوده تغییرات آن‌هاست، انتظار می‌رود که داده‌های فشار مازاد بر حسب عمق برای سیالی که در آن ناحیه از مخزن وجود دارد، نزدیک به افقی باشد. در شکل ۴- از آنجایی که نمودار P_d برای نفت و آب نزدیک به افقی است و برای گاز این طور نیست، بنابراین، تنها، دو فاز نفت و آب



شکل ۵ | نمودار گرافیکی فشار-عمق برای مطالعه موردی اول

۳-تفسیر داده‌های اندازه‌گیری شده در عملیات آزمایش مکرر سازند به روش فشار مازاد^۴

روشی که جهت تفسیر داده‌های اندازه‌گیری شده در عملیات آزمایش مکرر سازند معرفی می‌گردد، قبلاً توسط آقای هندرسون [۶] ارائه شده بود ولی کاربرد آن بر روی داده‌های آزمایش مکرر سازند در هیچ مقاله‌ای مشاهده نشده است. در این روش، اثر فشار هیدرواستاتیک با استفاده از معادله ۳- از داده‌های فشار حذف شده و به عنوان فشار مازاد معرفی می‌گردد.

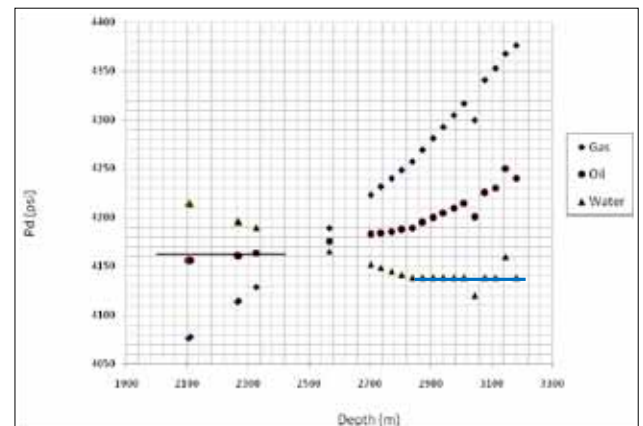
$$Pd_\alpha = P_\alpha - \gamma_\alpha (D_\alpha - D_d) \quad (3)$$

در معادله بالا، P_d فشار مازاد بر حسب پام، P فشار اندازه‌گیری شده بر حسب پام، γ گرادیان فشاری سیال بر حسب پام بر فوت، D_d عمق مبنا بر حسب فوت، D عمق متناظر با فشار اندازه‌گیری شده بر حسب فوت و α نوع سیال نفت، گاز یا آب می‌باشد. لازم به ذکر است که عمق مبنا به صورت اختیاری انتخاب می‌شود ولی نباید با عمق‌های اندازه‌گیری فشار فاصله زیادی داشته باشد در غیر این صورت نتایج قابل استفاده نخواهد بود. معادله بالا می‌تواند مرتب شده و به صورت زیر درآید:

$$Pd_\alpha = P_\alpha - \gamma_\alpha D_\alpha + \gamma_\alpha D_d \quad (4)$$

از آنجایی که فشار نرمال در هر عمق مخزن معادل فشار هیدرواستاتیک سیال مخزن بوده و به صورت $P_\alpha = \gamma_\alpha D$ تعریف می‌شود، بنابراین، در صورتی که داده‌های اندازه‌گیری شده دقیق بوده و نسبت به فشار هیدرواستاتیک نرمالایز گردند، انتظار می‌رود که فشار مازاد (فشار نرمالایز شده) در تمامی نقاط با یکدیگر برابر گردد و نمودار آن‌ها یک خط راست افقی شود. با جای گذاری $P_\alpha = \gamma_\alpha D$ در معادله ۴- مشخص می‌گردد که مقدار فشار مازاد، ثابت و برای تمام نقاط یکسان است.

$$Pd_\alpha = \gamma_\alpha D_d \quad (5)$$



شکل ۴ | نمودار فشار مازاد بر حسب عمق برای سه فاز نفت، گاز و آب (داده‌های فرضی)

در مخزن وجود دارند؛ در فاصله‌ی عمقی ۳۲۰۰-۲۸۰۰ متری، داده‌های فشار مازاد بر حسب عمق که برای آب رسم شده به صورت افقی هستند، که نشان می‌دهد این ناحیه، آبی است؛ ولی نمودار P_h برای نفت در این فاصله‌ی عمقی دارای شیب غیر صفر است. همچنین، در فاصله‌ی عمقی ۲۸۰۰-۲۶۰۰ متری، داده‌های P_h برای نفت به صورت افقی در آمده ولی برای آب، دارای شیب غیر صفر است که نشان می‌دهد این ناحیه، حاوی هیدروکربور نفت است.

پس از تشخیص فازهای موجود در مخزن و موقعیت عمقی سیالات، لازم است که نقاطی که غیر نرمال هستند از مجموعه‌ی داده‌ها خارج گردد و سپس، تفسیر نهایی انجام شود. با توجه به معادله ۴ انتظار می‌رود در حالتی که همه داده‌ها در یک لایه‌ی مخزنی به صورت دقیق اندازه‌گیری شده باشند و با هیچ پدیده غیر نرمال همراه نباشند، در همه نقاط، فشار مازاد یکسان بوده و بر روی یک خط راست قرار گیرند. در صورتی که نقاطی خارج از خط راست باشند، نشان‌دهنده وجود پدیده‌ی غیر نرمال است. به عنوان مثال، در نقاطی که پدیده Supercharging اتفاق افتاده است، فشار مازاد نسبت به نقاط اطراف بسیار بیشتر خواهد بود. در شکل ۴- در نقطه دوم از سمت راست، پدیده Supercharging اتفاق افتاده است.

در نهایت، به منظور به دست آوردن گرادیان دقیق سیالات موجود در مخزن، مقدار گرادیان در نظر گرفته شده برای محاسبات آن قدر تغییر داده می‌شود که نمودار به حالت افقی در آمده و شیب آن، صفر (و یا خیلی نزدیک به صفر) گردد. در شکل ۴- نمودار P_h برای گاز، نفت، و آب با گرادیان‌های ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۴۵ پام بر فوت رسم شده است. همان‌طور که در نمودار مشخص است، وزن آب به درستی حدس زده شده ولی وزن نفت دقیق نیست که پس از چند تغییر، مقدار دقیق ۰/۳ پام بر فوت برای آن مشخص گردید.

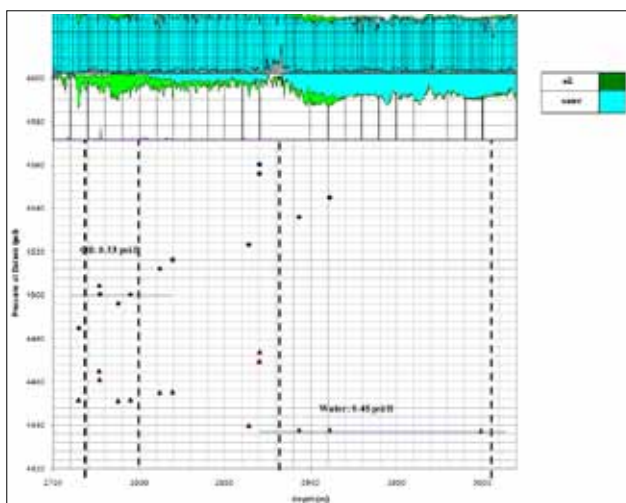
مزیت دیگر این روش این است که با استفاده از آن، می‌توان لایه‌ای بودن مخزن را تشخیص داد. بیشتر مخازن کربناته ایران دارای لایه‌های مختلف زمین‌شناسی با شرایط هیدرولیکی جدا از یکدیگر هستند. این جدایی لایه‌های

بعضی اوقات مشاهده می‌شود که علی‌رغم تغییر دادن چگالی، خط افقی به هیچ وجه به دست نمی‌آید. این پدیده به دلیل تغییر چگالی سیال با عمق یا همان Compositional Grading اتفاق افتاده است. در واقع، در این شرایط، با تغییر دادن گرادیان فشاری، شیب نمودار، کاهش و یا افزایش پیدا نمی‌کند بلکه با شیب یکسان به سمت بالا و یا پایین جابه‌جا می‌شود. بنابراین، در این موارد، با کمک این روش می‌توان وجود Compositional Grading را ثابت کرد. برای به دست آوردن تغییرات چگالی سیال در عمق نیز در شرایط خاص می‌توان از روشی که در ادامه آمده کمک گرفت.

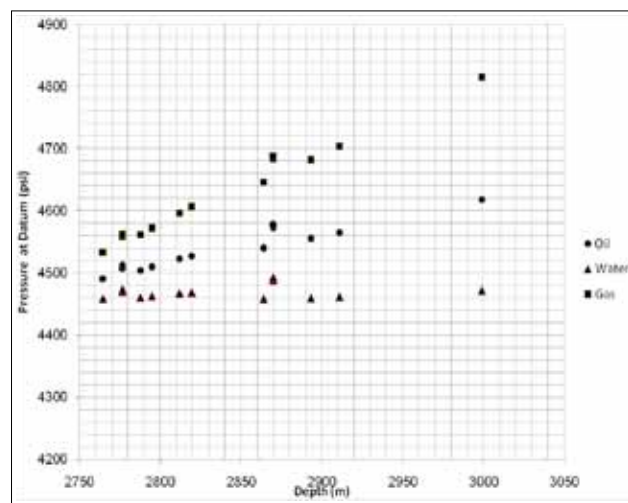
$$P = P_{ref} + \gamma_{eff} (D - D_{ref}) \quad (9)$$

در صورتی که مقدار ۷ برای یک ناحیه تک‌فازی به دلیل تغییرات ترکیب سیال، یکسان نباشد، پروفایل فشاری بر اساس معادله ۹- تغییر می‌کند:

در معادله‌ی بالا، γ_{eff} چگالی مؤثر بوده و با عمق تغییر می‌کند. در مخازنی که سیال آن‌ها گاز میعانی یا نزدیک شرایط بحرانی و یا در دماهای خیلی بالا نباشد، چگالی مؤثر به شکل یک تابع خطی از عمق است [۷]. بنابراین، معادله ۱۰- را می‌توان برای چگالی مؤثر استفاده کرد:



شکل ۵ | تفسیر داده‌های فشار مازاد برای مطالعه موردی اول



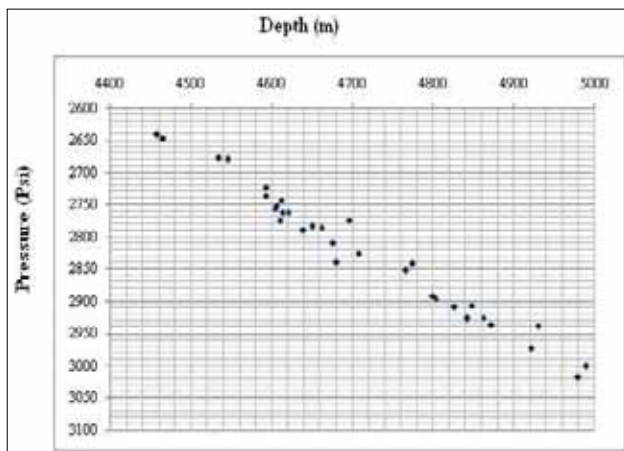
شکل ۶ | نرمالایز کردن داده‌های فشاری در عمق مبتنی بر مطالعه موردی اول

یک چاه انجام شد تا اطلاعات فشار سازند در چند نقطه از سازند کربناته اندازه‌گیری شود. در ابتدا، جهت به‌دست آوردن گرادیان فشاری، از روش گرافیکی فشار-عمق استفاده گردید. همانطور که در شکل ۵-نمایش داده شده است، تشخیص داده‌های فشاری نرمال و غیرنرمال بسیار مشکل است. در صورتی که داده‌های نرمال و غیرنرمال از یکدیگر جدا نشوند، نتیجه‌ی بررسی‌ها نشان می‌دهد که مخزن، حاوی آب با گرادیان ۰/۴۶ پام بر فوت می‌باشد؛ در حالی که اطلاعات دیگر، وجود نفت را در میدان اثبات کرده است. به‌همین منظور، در این مرحله، جهت بررسی دقیق‌تر، داده‌های فشاری بر روی عمق مبنای معادل ۲۷۰۰ متری و با در نظر گرفتن گرادیان‌های فشاری ۰/۳، ۰/۳۵ و ۰/۴۵ پام بر فوت به ترتیب برای گاز، نفت و آب نرمال‌یز گردیدند. همانطور که در شکل ۶- مشخص است، به دلیل عدم وجود خط با شیب نزدیک به صفر در داده‌های مربوط به گاز، احتمال وجود ناحیه گازی صفر است. در شکل ۷- تفسیر نمودارهای پتروفیزیکی به‌همراه داده‌های فشار مازاد، جهت یافتن ناحیه احتمالی هیدروکربنی و آبی و همچنین، تشخیص بهتر داده‌های نرمال و غیرنرمال استفاده گردیده است.

بر اساس تفسیر انجام شده بر روی داده‌های فشار، گرادیان فشاری ۰/۳۳ پام بر فوت برای نفت و ۰/۴۸ پام بر فوت برای آب به‌دست آمد. در نهایت، فاصله عمقی ۲۷۹۱-۲۷۸۲ متری جهت انجام آزمایش ساق‌مته پیشنهاد گردید که نتیجه‌ی آن، تولید نفت با چگالی ۰/۸۲۴۳ گرم بر سی سی بود (گرادیان فشاری ۰/۳۵۷ پام بر فوت) که با نتیجه‌ی آنالیز داده‌ها هم‌خوانی بسیار نزدیکی دارد. در این مرحله، با حذف داده‌های غیرنرمال در نمودار گرافیکی فشار-عمق و ادامه‌ی خطوط فشاری آب و نفت، سطح تماس آب و نفت به‌دست می‌آید. در شکل ۸- سطح تماس آب و نفت مشخص شده که در عمق ۲۸۱۵ متری قرار گرفته است.

۲-۴- مطالعه موردی دوم

در مثال دوم، تعداد زیادی داده‌های فشار به‌دست آمده با استفاده از ابزار



شکل ۹ | نمودار گرافیکی فشار-عمق برای مطالعه موردی دوم

$$\gamma_{eff} = \gamma_{ref} + \alpha(D - D_{ref}) \quad (10)$$

γ_{ref} چگالی مؤثر در عمق مینا و ثابتی است که معرف شیب تغییرات چگالی با عمق است. از ترکیب دو معادله بالا، معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$P = P_{ref} + \gamma_{ref}(D - D_{ref}) + \alpha(D - D_{ref})^2 \quad (11)$$

معادله‌ی بالا نشان می‌دهد که فشار مازاد در مخازنی که شرایط Compositional Grading دارند، به‌صورت تابعی درجه دو از عمق می‌باشد. به‌طور کلی جهت محاسبه پارامتر α ، معادله بالا به‌صورت زیر مرتب می‌شود:

$$\frac{P - P_{ref}}{D - D_{ref}} = \gamma_{ref} + \alpha(D - D_{ref}) \quad (12)$$

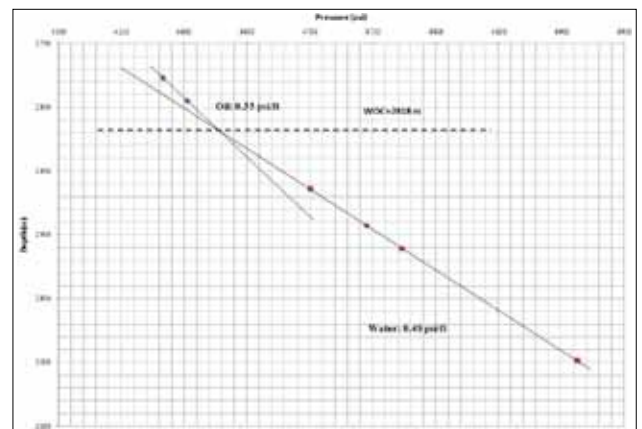
با رسم نمودار $P - P_{ref} / D - D_{ref}$ بر حسب $D - D_{ref}$ می‌توان پارامتر α را که شیب این نمودار است، به‌دست آورد. در این رابطه، P فشار اندازه‌گیری شده در عمق D (بعد از حذف نقاط نویزی) بوده و P_{ref} و D_{ref} نیز اولین داده مطمئن در این مجموعه داده‌های فشاری است که به‌عنوان نقطه مرجع در نظر گرفته شده است.

۴-۱- مطالعات موردی

در این مقاله سه نمونه مورد کاوی مطرح شده است که داده‌های آن‌ها مربوط به مخازن میدین جنوب‌غربی ایران است. مورد کاوی اول، یک نمونه ساده از مخزن نفتی همراه با آبد به همراه مورد کاوی دوم و سوم، مخازن لایه‌ای هستند که به روش معمول، امکان تشخیص لایه‌ای بودن آن‌ها بسیار دشوار بوده و با استفاده از روش ارائه شده در این مقاله، این امکان به‌خوبی فراهم شده است.

۴-۱-۱- مطالعه موردی اول

در این عملیات، آزمایش مکرر سازند با استفاده از ابزار MDT بر روی



شکل ۸ | نمودار گرافیکی فشار-عمق مطالعه موردی اول پس از حذف داده‌های غیرنرمال

داده‌های RFT دارد. در این مثال، مشخص گردید که این مخزن لایه‌ای بوده و تشخیص لایه‌ای بودن آن با استفاده از روش معرفی شده به راحتی امکان پذیر گردید. در ادامه، داده‌های قابل اطمینان این مثال جهت به دست آوردن سطح تماس نفت-آب بر روی نمودار گرافیکی فشار-عمق رسم شدند. سطح تماس آب-نفت همانطور که در شکل-۱۲ مشخص است، در عمق ۲۸۲۲ متری قرار گرفته است. لازم به ذکر است که شیب خطوط فشار آب و نفت که در شکل-۱۲ نمایش داده شده، بسیار نزدیک به هم بوده و در صورت عدم حذف داده‌های نامطمئن و غیر نرمال، این خطوط به راحتی منحرف شده، نتایج کاملاً متفاوت به دست می‌آید و تقریباً تشخیص سطح تماس آب-نفت غیر ممکن می‌گردد.

۴-۳- مطالعه موردی سوم

مثال پایانی، نمونه بسیار خوب دیگری است که کاربرد روش معرفی شده را در تشخیص لایه‌ای بودن مخزن نشان می‌دهد. این مخزن از نظر زمین‌شناسی به ۸ لایه تقسیم شده است که تنها، لایه‌های میانی آن (لایه‌های ۴ تا ۷) با استفاده از ابزار RFT مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه چاه مورد نظر اکتشافی بوده و اطلاعات زیادی از شرایط مخزنی در دسترس نیست، لذا لازم است تا تفسیر داده‌های فشاری به صورت دقیق انجام شود تا وضعیت لایه‌ای بودن مخزن به خوبی مشخص گردد. در ابتدا، با استفاده از روش معرفی شده، داده‌های فشاری، نامطمئن مشخص شده و اطلاعات دقیق استخراج گردیدند. سپس، به منظور مشخص کردن لایه‌های مختلف، داده‌ها بر روی نمودار گرافیکی فشار-عمق رسم گردیدند. همانطور که در شکل-۱۳ نشان داده شده است، حتی پس از حذف داده‌های غیر نرمال، تشخیص لایه‌های مختلف با استفاده از نمودار گرافیکی فشار-عمق به راحتی امکان پذیر نیست.

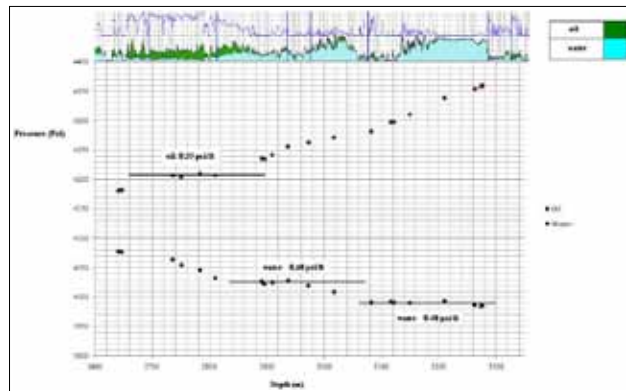
در نتیجه، به منظور تشخیص لایه‌های مخزنی، نمودار فشار مازاد بر حسب عمق و همراه با تفسیر نمودارهای مخزنی در شکل-۱۴ رسم گردید. اولین اطلاعاتی که در نگاه اول از این شکل به دست می‌آید، وجود لایه‌های مختلف با شرایط هیدرودینامیکی متفاوت است که با نتایج بررسی زمین‌شناسی در خصوص لایه‌ای بودن مخزن هم‌خوانی نزدیکی دارد. در این شکل، خط چین‌های عمودی، تقسیم‌بندی مخزن بر اساس داده‌های فشاری بوده و

RFT بررسی می‌گردد. این اطلاعات بر روی نمودار گرافیکی فشار-عمق رسم گردیده و در شکل ۹- نمایش داده شده‌اند.

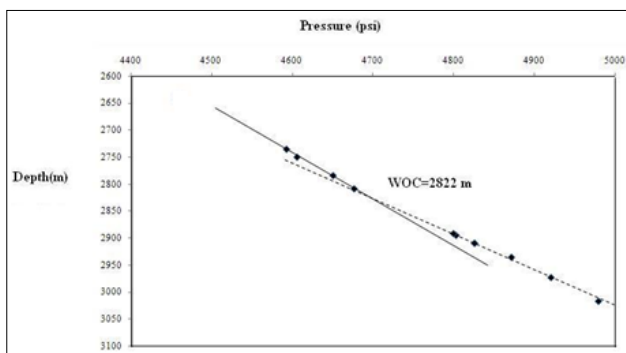
همانطور که در شکل ۹- مشخص است، اطلاعات فشاری به صورت گسترده پخش شده‌اند و امکان تشخیص داده‌های غیر نرمال بسیار مشکل است. اگر یک خط از همه‌ی داده‌ها عبور داده شود، گرادیان فشاری ۰/۴۴ پام بر فوت به دست می‌آید که نشان می‌دهد مخزن، حاوی آب با شوری پایین است. در این مرحله، جهت آنالیز دقیق‌تر اطلاعات به دست آمده از ابزار RFT، داده‌ها بر روی عمق مبنای ۲۴۰۰ متری نرمالایز گردیدند (شکل-۱۰).

نتایج بررسی‌ها با استفاده از روش معرفی شده نشان می‌دهد که سیال گازی در این مخزن وجود ندارد. پس از حذف اطلاعات فشاری غیر نرمال، شکل-۱۱ به دست می‌آید که تفسیر نمودارهای مخزنی در بالای آن قرار داده شده است.

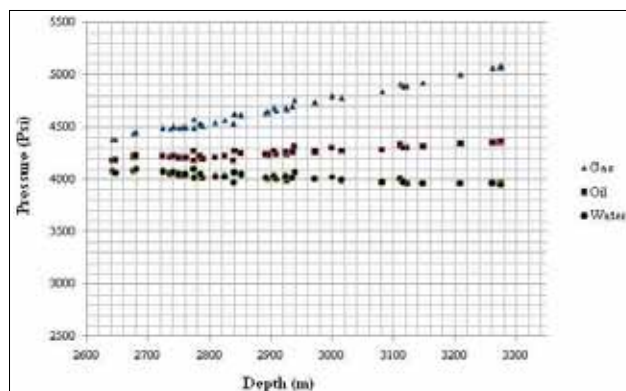
با استفاده از روش جدید، داده‌های نامطمئن شناسایی و حذف گردیدند که در نتیجه‌ی آن، سه خط افقی به دست آمد: دو ناحیه آبی با گرادیان ۰/۴۸ پام بر فوت و یک ناحیه نفتی با گرادیان ۰/۳۵ پام بر فوت. لازم به ذکر است که در فاصله عمقی ۲۷۷۸-۲۷۶۵ متری، یک آزمایش ساق‌مته انجام شده و نمونه سیال مخزنی اخذ گردید. آنالیز آزمایشگاهی آن نشان داد که گرادیان فشاری سیال مخزنی ۰/۳۶ پام بر فوت می‌باشد که تطابق خوبی با نتایج به دست آمده از آنالیز



شکل ۱۱ | تفسیر داده‌های فشار مازاد برای مطالعه موردی دوم



شکل ۱۳ | نمودار گرافیکی فشار-عمق مطالعه موردی دوم پس از حذف داده‌های غیر نرمال



شکل ۱۴ | نرمالایز کردن داده‌های فشار مازاد برای مطالعه موردی دوم

فشاری است که در نتیجه‌ی آن، عدم قطعیت آنالیز اطلاعات آزمایش مکرر فشار سازند بسیار پایین می‌آید.

۳- یکی از کاربردهای مهم روش جدید، تشخیص لایه‌ای و یا غیر لایه‌ای بودن مخازن هیدروکربوری به صورت دقیق است.

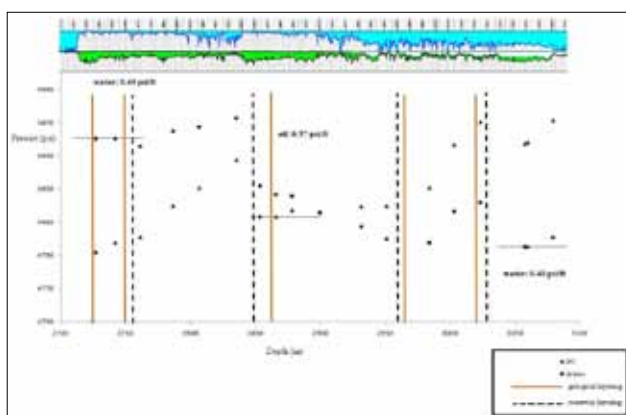
۴- یکی دیگر از کاربردهای مهم روش جدید، تشخیص وجود پدیده Compositional Grading در مخازن هیدروکربوری است ولی به دلیل اینکه جهت محاسبه پارامتر تغییر چگالی (α) باید خواص سیال مخزن در دو عمق متفاوت مشخص شده باشد، در این مطالعه، امکان بررسی این موضوع فراهم نگردید. ■

خط‌های پُر، تقسیم‌بندی براساس اطلاعات زمین‌شناسی را نشان می‌دهد که به یکدیگر نزدیک می‌باشند. لازم به ذکر است که نتایج آنالیز اطلاعات RFT، تفسیر نمودارهای مخزنی در خصوص سیال مخزن را نیز تأیید می‌کند.

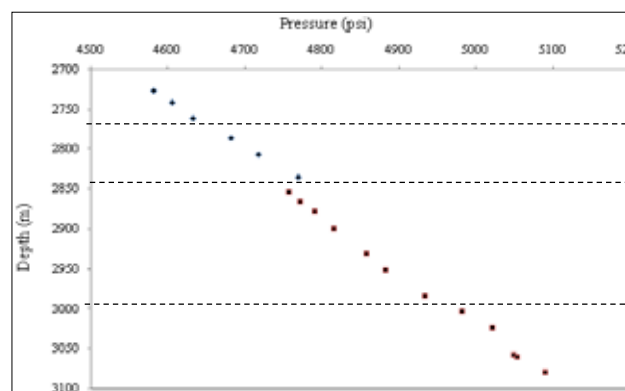
نتیجه‌گیری

۱- در صورت وجود داده‌های فشاری غیر نرمال و نامطمئن، روش گرافیکی فشار-عمق نمی‌تواند تفسیر دقیق و قابل اعتمادی از اطلاعات آزمایش مکرر فشار سازند ارائه دهد.

۲- روش معرفی شده، یک ابزار تشخیصی جهت کنترل و بررسی داده‌های



شکل ۱۴ | تفسیر داده‌های فشار مازاد برای مطالعه موردی سوم



شکل ۱۳ | نمودار گرافیکی فشار-عمق مطالعه موردی سوم پس از حذف داده‌های غیر نرمال

پانویس‌ها

1. Compositional Grading
2. Draw Down
3. Build Up
4. Barrier
5. Lost Seal
6. Tight point
7. Dry point
8. Excess Pressure
9. Case Study

منابع

- [1]. Pelissier-Combescure, J., Pollock, D., and Wittman, M.: "Application of Repeat Formation Tester Measurements in the Middle East," paper SPE 7775 Prepared for presentation at the Middle East Oil Technical Conference held in Manama, Bahrain, 25- 29 March 1979.
- [2]. Wireline Formation Testing and Sampling, Schlumberger Educational Services, SMP-7058, Houston, USA, 1996.
- [3]. Stewart, G., and Wittman, M.: "Interpretation of the Pressure Response of the Repeat Formation Tester," paper SPE 8362 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Las Vegas, USA, 2326- September 1979.
- [4]. Stewart, G., and Ayestaran, L.: "The Interpretation of Vertical Pressure Gradients Measured at Observation Wells in Development Reservoirs," paper SPE 11132 prepared for presentation at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, USA, 2629- September 1982.
- [5]. R.R. Jackson, A. Carnegie, and F.X. Dubost, "Pressure Measurement and Pressure Gradient Analysis: How Reliable for Determining Fluid Density and Compositional Gradients?" SPE 111911, 2007
- [6]. Henderson Petrophysics- Consulting Reservoir Evaluation, "Statistical Determination of Reservoir Fluid Contacts Using Formation Pressure Data"
- [7]. Hoier, L. and Whitson, C.: "Compositional Grading –Theory and Practice," paper SPE 63085 prepared for presentation at the 2000 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Texas, 14- October 2000.