

# ارائه یک روش تحلیلی جدید به منظور مدیریت تخصیص آب به چاه‌های تزریقی در پروژه‌های سیلاب‌زنی

علی چپرلی و یوسف رفیعی\*

دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۲۳

## چکیده

یکی از چالش‌های عمده صنایع نفت و گاز، تولید آب می‌باشد که باعث بروز مشکلات زیست‌محیطی، عملیاتی و اقتصادی فراوانی می‌شود. از جمله عوامل تولید آب ناخواسته، آب ناشی از تزریق در فرآیندهای سیلاب‌زنی می‌باشد که میزان آن در اثر برنامه تزریق نامناسب و عدم مدیریت افزایش می‌یابد. بنابراین عملیات سیلاب‌زنی باید به گونه‌ای مدیریت شود تا میزان ضریب بازیافت و کارایی جاروب افزایش یافته و به تبع آن میزان تولید تجمعی آب کاهش یافته و نفت بیشتری در چاه تولید شود. از جمله عوامل مهم در تصمیم‌گیری و مدیریت سیلاب‌زنی مخازن نفتی، مدیریت تخصیص آب می‌باشد. مدیریت تخصیص به این معناست که به هر چاه تزریقی که ارتباط بهتری با چاه تولیدی با تولید نفت بالا و تولید آب کم دارد، آب بیشتری جهت تزریق اختصاص یابد. پیوستگی بین چاه‌های تزریقی و تولیدی پارامتری بسیار مهم می‌باشد که مدیریت تخصیص آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پارامتر مشخص می‌کند که چگونه یک چاه تزریقی و تولیدی با یکدیگر ارتباط دارند. روش‌های مختلفی برای محاسبه این پارامتر ارائه شده است که در این بین روش ظرفیت-مقاومت اخیراً مورد توجه مهندسين قرار گرفته است. در این روش، مخزن، مشابه سیستمی فرض می‌شود که محرکی از بیرون دریافت می‌کند (نرخ تزریق) و عکس‌عملی (نرخ تولید) از خود نشان می‌دهد. در معادلات این روش، دو دسته پارامتر اصلی (مجهول) وجود دارند. دسته اول ثوابت زمانی و دیگری ضرایب وزنی می‌باشند. با استفاده از تاریخچه تولید چاه‌ها، پارامترهای مجهول به دست می‌آیند. پس از یافتن مجهولات، میزان تولید سیال پیش‌بینی شده است. سپس با تعریف شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص مؤثر تولید نفت الگوریتمی جدید برای محاسبه کسر آب تزریقی اختصاص یافته به هر کدام از چاه‌های تزریقی ارائه شده است و این الگوریتم جدید با بهبود تخصیص آب به چاه‌های تزریقی، باعث افزایش تولید تجمعی نفت و کاهش تولید تجمعی آب شده است.

**کلمات کلیدی:** سیلاب‌زنی، مدیریت تخصیص آب، پیوستگی چاه‌ها، روش ظرفیت-مقاومت، شاخص مؤثر تولید نفت.

## مقدمه

یکی از مشکلات عمده صنایع نفت و گاز تولید آب می‌باشد. تولید آب در چاه‌های نفت و گاز علاوه بر مشکلات عملیاتی، باعث بروز مشکلات قابل توجه اقتصادی و زیست‌محیطی می‌شود [۱]. قسمتی از این آب تولیدی ناشی از تخصیص نامناسب آب به چاه‌های تزریقی و برنامه تزریق نامناسب است. از این رو مدیریت عملیات سیلاب‌زنی و ارائه یک برنامه تزریق مناسب می‌تواند به بهبود تخصیص آب به چاه‌های تزریقی کمک کرده و باعث کاهش تولید آب ناشی از عملیات مدیریت نشده سیلاب‌زنی گردد. یکی از فاکتورهای مهم در مدیریت سیلاب‌زنی مخازن نفت و گاز، آگاهی از پیوستگی و ارتباط بین چاه‌های تزریقی و تولیدی می‌باشد. زیرا با آگاهی از ارتباط بین این چاه‌ها می‌توان فرآیند تخصیص آب به چاه‌های تزریقی را به‌خوبی کنترل نمود. در واقع با در دست داشتن ارتباط بین چاه‌های تزریقی و تولیدی می‌توان طوری آب تزریقی را به هر کدام از چاه‌های تزریقی اختصاص داد که زمان رسیدن آب و شروع تولید آب در چاه تولیدی به تأخیر افتد.

روش‌های مختلفی جهت محاسبه میزان ارتباط بین چاه‌ها ارائه شده است که اکثر این روش‌ها بر پایه آنالیز داده‌های تولید و تزریق می‌باشند. در سال ۲۰۰۲ آلبرتونی و همکاران روشی را تحت عنوان رگرسیون خطی چند متغیره<sup>۱</sup> ارائه نمودند [۲]. در ادامه یوسف و همکارانش از مدل کامل‌تری استفاده کردند که شامل اثر ظرفیت به مفهوم تراکم‌پذیری<sup>۲</sup> و اثر مقاومت به مفهوم انتقال‌پذیری<sup>۳</sup> بود. به این ترتیب برای هر جفت چاه تزریقی و تولیدی دو ضریب تعیین می‌شود، پارامتر ضریب وزنی که میزان ارتباط بین چاه‌ها را مشخص می‌کند و پارامتر دیگر ثابت زمانی می‌باشد که میزان ذخیره شدن سیال بین دو چاه را به‌طور کمی مشخص می‌کند [۳].

سیاریور نیز با در نظر گرفتن سه حجم کنترل متفاوت، معادلات نیمه تحلیلی مربوط به روش ظرفیت-مقاومت را به‌صورت ریاضی بیان کرد [۴]. همچنین مطالعات موردی گسترده‌ای با استفاده از روش ظرفیت-مقاومت بر روی مخازن متعددی صورت گرفت. لیانگ با استفاده از این روش، یک آنالیز حساسیت روی میزان تولید نفت با در نظر گرفتن قیمت نفت و هزینه تزریق آب انجام داد [۵]. همچنین سیاریور چهار مورد مطالعه موردی روی میدان‌های واقعی انجام داد. او در این بررسی نشان داد که این روش برای مخازن واقعی که به مراتب پیچیده‌تر از مخازن مصنوعی بوده و ناهمگن هستند، قادر است تطبیق تاریخچه را با دقت بالا انجام دهد [۶]. دلشاد نیز در سال ۲۰۰۹ نشان داد که این روش می‌تواند برای تشخیص شکاف در مخازن شکاف‌دار طبیعی مورد استفاده قرار گیرد [۷]. لی و همکارانش در سال ۲۰۱۱، کن و کبیر در سال ۲۰۱۲ این روش را جهت محاسبه پیوستگی بین چاه‌های یک مخزن مورد استفاده قرار دادند و نتایج قابل قبولی را به‌دست آوردند [۸ و ۹]. ژانگ و همکارانش روش ظرفیت-مقاومت را با فیلتر کالمن<sup>۴</sup> ترکیب نمودند و پیوستگی بین چاه‌ها را در یک مخزن لایه‌ای محاسبه کردند [۱۰]. اشراقی و همکارانش نیز با استفاده از این روش و ترکیب آن با الگوریتم‌های بهینه‌سازی، عملیات تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن<sup>۵</sup> را بهینه‌سازی نمودند [۱۱]. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که روش ظرفیت-مقاومت نسبت به دیگر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار است [۱۲]. بنابراین در این مقاله روش ظرفیت-مقاومت بر روی داده‌های تزریق و تولید یک مدل استاندارد مخزن نفتی اعمال می‌شود و میزان پیوستگی بین چاه‌های این مخزن محاسبه می‌گردد.

1. Multivariate Linear Regression
2. Compressibility
3. Transmissibility
4. Kalman Filter
5. Miscible CO<sub>2</sub> Injection

گام k-1 و k است.

### ارائه الگوریتمی جدید به منظور بهبود تخصیص آب به چاه‌های تزریقی

جهت بهبود تخصیص آب به چاه‌های تزریقی، باید به هر چاه تزریقی که ارتباط بهتری با چاه تولیدی با تولید نفت بالا و تولید آب کم دارد، آب بیشتری جهت تزریق اختصاص یابد تا حمایت بهتری از چاه‌های تولیدی با تولید نفت بهتر، توسط این چاه‌های تزریقی صورت گیرد [۱۲]. بنابراین با استفاده از پارامتر میزان پیوستگی بین چاه‌ها که نشان دهنده ارتباط بین چاه‌ها است و همچنین پارامتر برش آب که نشان دهنده عملکرد چاه‌های تولیدی می‌باشد، شاخص‌های جدیدی تعریف می‌شود و با استفاده از این شاخص‌ها به اولویت‌بندی چاه‌های تزریقی پرداخته می‌شود. در واقع این شاخص‌ها این امکان را فراهم می‌سازند تا به چاه‌های تزریقی که ارتباط بهتری با چاه‌های تولیدی با عملکرد بهتر دارند، آب بیشتری جهت تزریق اختصاص یابد. این شاخص‌ها به قرار زیر هستند:

۱- شاخص تولید آب برای جفت چاه‌های تزریقی و تولیدی

این شاخص بیانگر میزان تولید آب ناشی از سیلاب‌زنی می‌باشد و به صورت رابطه ۳ بیان می‌گردد.

$$WPI_{ip} = f_{ip} \times WC_p \times q_p \quad (3)$$

که در آن  $WPI_{ip}$  بیانگر شاخص تولید آب چاه تولیدی p می‌باشد که تولید آب آن در اثر ارتباط این چاه با چاه تزریقی i هست و  $f_{ip}$  بیانگر ضریب وزنی چاه تولیدی p و چاه تزریقی i و عبارت  $WC_p$  بیانگر برش آب مربوط به چاه تولیدی p و  $q_p$  نیز بیانگر نرخ تولید سیال در چاه تولیدی p می‌باشد. هر چه میزان  $WPI_{ip}$  بیشتر باشد، به این معناست که چاه تزریقی i با چاه تولیدی با تولید آب بالا ارتباط بیشتری دارد.

سپس الگوریتمی جدید براساس ضریب پیوستگی بین چاه‌ها و فاکتورهای از جمله نرخ تولید چاه‌ها و برش آب در چاه‌های تولیدی جهت مدیریت تخصیص آب به چاه‌های تزریقی ارائه می‌شود.

### معادلات روش ظرفیت- مقاومت

همان‌طور که بیان شد سیارپور با در نظر گرفتن سه حجم کنترل متفاوت، معادلات تحلیلی مربوط به روش ظرفیت- مقاومت را به صورت ریاضی بیان کرد که در این مقاله از مدل حجم کنترل برابر با شعاع ریزش هر چاه تولیدی استفاده می‌شود. برای یک میدان که شامل  $N_i$  چاه تزریقی و  $N_p$  چاه تولیدی می‌باشد، معادله موازنه حجم بر روی شعاع ریزش هر چاه تولیدی اعمال می‌شود و نرخ تولید هر چاه براساس نرخ تزریق، به صورت رابطه ۱ بیان می‌شود [۵].

$$q_p(t) = \sum_{i=1}^{N_i} f_{ip} I_i(t) - \tau_p \frac{dq_p(t)}{dt} \quad (1)$$

که در آن  $q_p(t)$  بیانگر نرخ تولید چاه تولیدی p در زمان t،  $f_{ip}$  بیانگر ضریب وزنی (میزان پیوستگی) چاه تولیدی p و چاه تزریقی i،  $I_i(t)$  بیانگر نرخ تزریق چاه تزریقی i، بیانگر ثابت زمانی چاه تولیدی p و عبارت  $\frac{dq_p(t)}{dt}$  بیانگر میزان تغییر نرخ تولید چاه تولیدی p برحسب زمان می‌باشد. هرچه مقدار پارامتر  $f_{ip}$  بزرگ‌تر باشد، به این معناست که چاه تزریقی i ارتباط و پیوستگی بیشتری با چاه تولیدی z دارد. همچنین رابطه ۱ را می‌توان به صورت گسسته برحسب زمان همانند رابطه ۲ بیان کرد [۵].

$$q_p(t_k) = q_p(t_{k-1}) e^{\frac{t_k - t_{k-1}}{\tau_p}} + (1 - e^{\frac{t_k - t_{k-1}}{\tau_p}}) \left( \sum_{i=1}^N f_{ip} I_i^{(k)} - J_p \tau_p \frac{\Delta P_{wf,p}^{(k)}}{\Delta t_k} \right) \quad (2)$$

که در آن  $q_p(t_{k-1})$  بیانگر نرخ تولید چاه تولیدی قبل از شروع عملیات سیلاب‌زنی،  $J_p$  شاخص بهره‌دهی چاه تولیدی p و  $\frac{\Delta P_{wf,p}^{(k)}}{\Delta t_k}$  بیانگر تغییرات فشار ته‌چاهی چاه p در بازه زمانی  $\Delta t_k$  است. عبارت  $t_k$  و  $t_{k-1}$  به ترتیب بیانگر زمان تزریق در

زیر عمل می‌گردد:

۱- محاسبه شاخص مؤثر تولید نفت برای چاه

تزریقی  $i$  با استفاده از رابطه ۶.

۲- محاسبه شاخص مؤثر تولید نفت کل چاه‌های

تزریقی که به صورت رابطه ۷ بیان می‌شود.

$$EOPI_T = \sum_{i=1}^{i=N_i} EOPI_i \quad (7)$$

۳- محاسبه کسر آب تزریقی برای هر چاه تزریقی

که مطابق با رابطه ۸ است.

$$WIA_i = \frac{EOPI_i}{EOPI_T} \quad (8)$$

### مطالعه موردی

روش ظرفیت- مقاومت برروی یک مخزن شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار ریویل از مجموعه نرم‌افزارهای مدل‌سازی یکپارچه تولید اجرا خواهد شد. این مدل شامل چهار چاه تزریقی عمودی و سه چاه تولیدی عمودی می‌باشد که مدلی استاندارد برای مطالعه پروژه‌های تزریق آب و سیلاب‌زنی می‌باشد که توسط شرکت پترولیوم اکسپرت ارائه شده است. مخزن مورد مطالعه در حال تولید نفت از طریق ۳ چاه تولیدی می‌باشد و این چاه‌های تولیدی توسط ۴ چاه تزریقی حمایت می‌شوند و تزریق در این میدان از ابتدای تولید صورت گرفته است و سفره آبی نیز در این مخزن وجود ندارد. شکل ۱ موقعیت چاه‌ها را نشان می‌دهد. خصوصیات سنگ و سیال مخزن نیز مطابق جدول ۱ می‌باشد. شرایط نرخ ثابت تولید سیال (آب و نفت) در سطح برروی چاه‌های تولیدی اعمال شده است، ولی نرخ تولید در شرایط ته چاهی با نرخ تولید در سطح متفاوت می‌باشد. در واقع بر اثر آزاد شدن گاز حل شده از نفت در سطح، میزان ضریب حجمی تشکیل نفت<sup>۱</sup> در گذشت زمان تغییر کرده و در نتیجه میزان تولید ته‌چاهی در شرایط مخزن و تولید سرچاهی در شرایط استاندارد (سطح) متفاوت خواهد بود و علی‌رغم اینکه تولید در شرایط سطحی ثابت است، تولید در شرایط ته‌چاهی روند نزولی دارد.

۲- شاخص تولید نفت برای جفت چاه‌های تزریقی و تولیدی

این شاخص بیانگر میزان تولید نفت ناشی از سیلاب‌زنی می‌باشد و به صورت رابطه ۴ بیان می‌گردد.

$$OPI_{ip} = f_{ip} \times (1 - WC_p) \times q_p \quad (4)$$

که در آن  $OPI_{ip}$  بیانگر شاخص تولید نفت برای جفت چاه تزریقی و تولیدی می‌باشد و هرچه مقدار  $OPI_{ip}$  بیشتر باشد، نشان‌دهنده این است که چاه تزریقی به چاه تولیدی با برش آب کم، ارتباط بیشتری دارد. ۳- شاخص مؤثر تولید نفت برای جفت چاه‌های تزریقی و تولیدی

این شاخص بیانگر تولید مؤثر نفت از چاه‌های تولیدی می‌باشد و به صورت رابطه ۵، از تفریق شاخص تولید نفت و شاخص تولید آب برای جفت چاه‌های تزریقی و تولیدی محاسبه می‌شود.

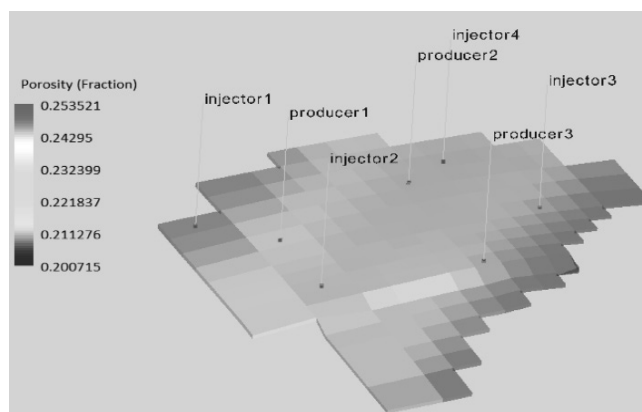
$$EOPI_{ip} = OPI_{ip} - WPI_{ip} = f_{ip} \times (1 - 2 \times WC_p) \times q_p \quad (5)$$

۴- شاخص مؤثر تولید نفت برای چاه تزریقی این پارامتر که مطابق با رابطه ۶ بیان می‌شود، بیانگر میزان تولید نسبی نفت در نتیجه تزریق آب از چاه تزریقی  $i$  می‌باشد و مقادیر مثبت این پارامتر بیانگر ارتباط بهتر چاه تزریقی  $i$  با چاه‌های تولیدی با تولید نفت بالا و تولید آب کم می‌باشد.

$$EOPI_i = \sum_{p=1}^{p=N_p} EOPI_{ip} \quad (6)$$

این شاخص بیانگر میزان اثر چاه تزریقی  $i$  بر روی چاه‌های تولیدی می‌باشد و مقادیر بزرگ‌تر این شاخص نشان‌دهنده ارتباط بهتر چاه تزریقی مورد نظر با چاه‌های تولیدی با تولید نفت بالا و تولید آب کم می‌باشد و با استفاده از این پارامتر می‌توان چاه‌های تزریقی را اولویت‌بندی نمود تا به چاه تزریقی که ارتباط بهتری با چاه تولیدی با عملکرد بهتر دارد، آب بیشتری جهت تزریق اختصاص یابد. الگوریتم محاسبه کسر آب تزریقی بهبود یافته از طریق شاخص مؤثر تولید نفت

برای محاسبه کسر آب تزریقی بهبود یافته به صورت



شکل ۱ مرزهای مخزن و موقعیت چاهها در آن (رنگها بیانگر توزیع تخلخل در مخزن می باشد)

مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در طی این ۱۰ سال، موج افت فشار به تمام مرزهای مخزن رسیده است و پدیده میان‌شکن در چاه‌های تولیدی رخ داده است. معادله ۲ جهت محاسبه پیوستگی بین چاه‌های تزریقی و تولیدی مورد استفاده قرار گرفته است. معکوس فاصله بین چاه‌های تزریقی و تولیدی به عنوان مقادیر اولیه ضریب وزنی در نظر گرفته شده‌اند و با حداقل کردن اختلاف بین مقادیر محاسبه شده از طریق قرار دادن این مقادیر اولیه در رابطه ۲ و داده‌های واقعی توسط نرم‌افزار اکسل، مقادیر واقعی این پارامترها محاسبه شده‌اند. شکل ۳ بیانگر ضریب وزنی چاه‌های تزریقی-تولیدی و ثوابت زمانی چاه‌های تولیدی می‌باشد.

پس از تطبیق تاریخچه و به‌دست آوردن پارامترهای روش ظرفیت-مقاومت، نرخ تولید چاه‌های تولیدی برای ۱۰ سال دوم پیش‌بینی شده‌اند و با تاریخچه تولید مربوط به این ۱۰ سال مقایسه شده‌اند. شکل ۴ بیانگر میزان خطای این روش می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، این روش با موفقیت توانسته است نرخ تولید چاه‌ها را پیش‌بینی کند و میزان خطای این روش بسیار پایین بوده و روشی قابل قبول جهت محاسبه پیوستگی بین چاه‌ها است.

جدول ۱ خواص سنگ و سیال

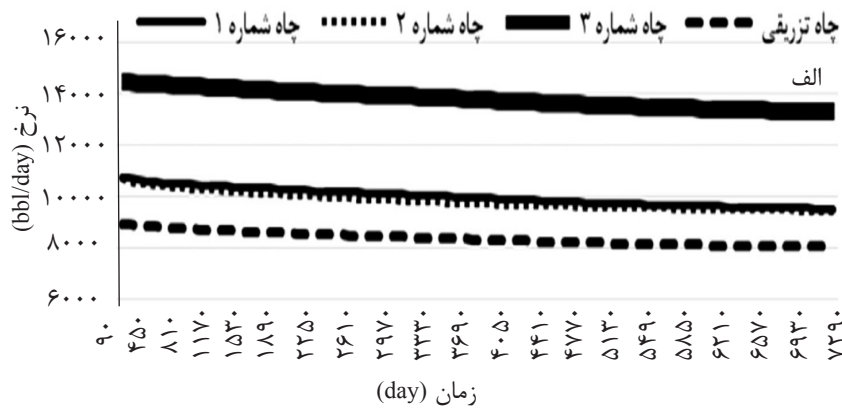
مقدار	خواص
۳۰ API	چگالی نفت
۵۰۰ SCF/STB	نسبت نفت به گاز
۰/۰۰۰۰۰۳ l/psi	تراکم‌پذیری
۰/۲-۰/۲۵	تخلخل
۲۰۵۴ Psia	فشار نقطه حباب
۲۰ × ۱۵ × ۴	تعداد بلوک‌ها در شبیه‌سازی
۴۰۰۰ Psia	فشار اولیه مخزن
۲۲۰-۲۳۰ md	نفوذپذیری

همچنین میزان تولید آب در چاه‌های تولیدی بر اثر تزریق آب می‌باشد و تولید آب همزاد نیز بسیار ناچیز است. میزان کل تزریق سیال در چاه‌های تزریقی نیز برابر با میزان تولید در شرایط ته‌چاهی می‌باشد<sup>۱</sup> و بنابراین میزان تزریق نیز در شرایط ته‌چاهی روبه کاهش خواهد بود. همچنین نرخ تزریق کلیه چاه‌های تزریقی با یکدیگر برابر می‌باشد. شکل ۲ تاریخچه ۲۰ سال تولید و تزریق در شرایط ته‌چاهی برای هریک از چاه‌ها و میزان برش آب در هر چاه تولیدی پس از ۲۰ سال را نشان می‌دهد.

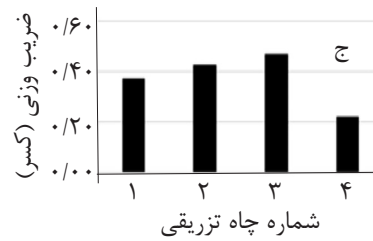
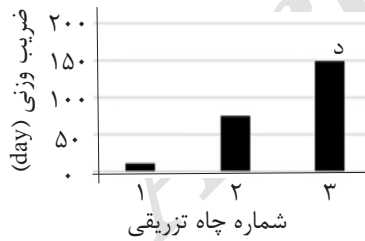
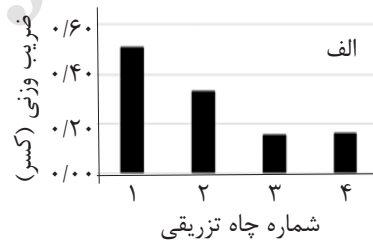
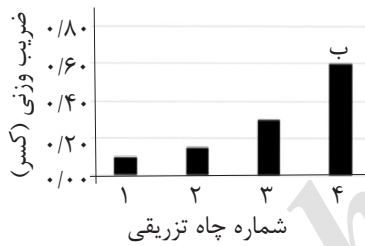
## نتایج و بحث

داده‌های ۱۰ سال اول تاریخچه تولید و تزریق، به‌عنوان داده‌های ورودی در روش ظرفیت-مقاومت

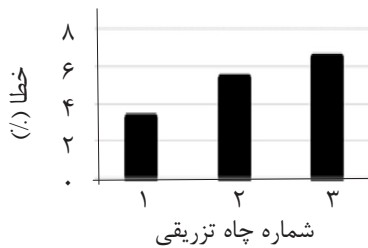
1. Voidage Replacement



شکل ۲ الف) داده‌های ۲۰ سال تولید و تزریق چاه‌ها، ب) مقادیر برش آب چاه‌های تولیدی پس از ۲۰ سال



شکل ۳ الف) ضریب وزنی چاه شماره ۱، ب) ضریب وزنی چاه شماره ۲، ج) ضریب وزنی چاه شماره ۳ د) ثابت زمانی چاه‌های تولیدی



شکل ۴ خطای روش ظرفیت-مقاومت در مقایسه با ۱۰ سال دوم تاریخچه تولید و تزریق

تزریقی، مقادیر محاسبه شده کسر آب تزریقی (شکل ۵-الف) به مدت ۲۰ سال به هر یک از چاه‌های تزریقی اعمال شده‌اند و با حالتی که در آن نرخ تزریق همه چاه‌های تزریقی برابر می‌باشد، مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج این دو حالت در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. برای حجم برابر از میزان آب تزریقی در دو حالت بهبودیافته و غیر بهبودیافته، روش ارائه شده در ۲۰ سال آینده منجر به افزایش تولید تجمعی نفت به میزان ۶/۳۲ میلیون بشکه و کاهش برش آب به میزان ۳/۱۶٪ شده است.

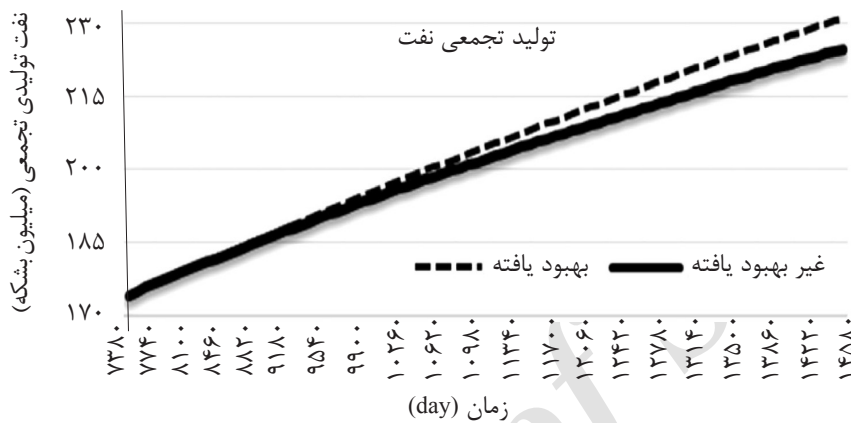
اکنون که پیوستگی بین چاه‌ها محاسبه شده است و اعتبار روش مورد بررسی قرار گرفته است، با استفاده از داده‌های برش آب در شکل ۲، مقادیر مربوط به ضریب پیوستگی بین چاه‌ها در شکل ۳ و الگوریتم جدید ارائه شده، مقادیر شاخص‌های بیان شده در معادلات ۳ تا ۶ محاسبه شده‌اند و این مقادیر برحسب بشکه در روز برای هر یک از چاه‌ها مطابق با جدول ۲ می‌باشد. همچنین میزان آب تزریقی به صورت کسری از کل آب تزریقی و شاخص مؤثر تولید نفت برحسب بشکه در روز برای هر یک از چاه‌های تزریقی در شکل ۵ نمایش داده شده است. جهت بهبود تخصیص آب به چاه‌های

جدول ۲ مقادیر شاخص تولید آب، شاخص تولید نفت و شاخص مؤثر تولید نفت برای چاه‌ها

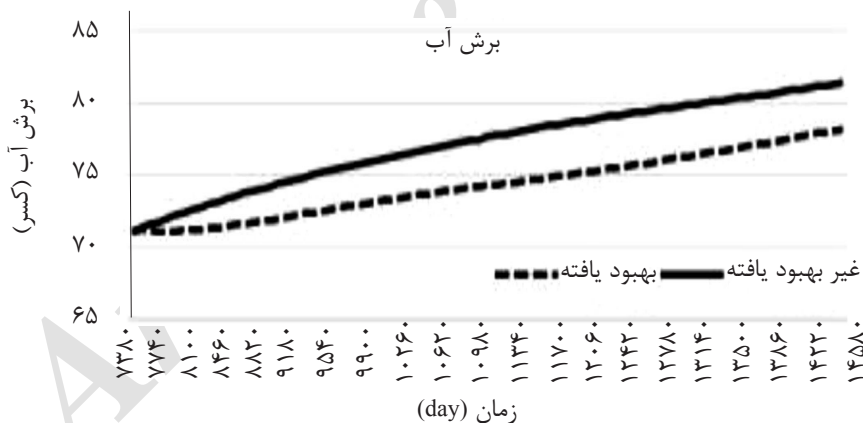
متغیر	چاه تولیدی شماره ۱	چاه تولیدی شماره ۲	چاه تولیدی شماره ۳
$WPI_{1p}$	۲۰۶۴/۲۱	۵۰۸/۹۰	۱۱۵۸/۷۲
$WPI_{2p}$	۱۳۳۵/۶۶	۷۶۳/۳	۱۳۴۶/۶۲
$WPI_{3p}$	۶۰۷/۱۲	۱۵۲۶/۷۲	۱۴۷۱/۸۹
$WPI_{4p}$	۶۴۷/۵۹	۳۰۵۳/۴۵	۶۸۸/۹۷
$OPI_{1p}$	۲۵۲۵/۷۶	۳۹۱/۰۹	۳۲۸۱/۲۷
$OPI_{2p}$	۱۶۳۴/۳۳	۵۸۶/۶۳	۳۸۱۳/۳۷
$OPI_{3p}$	۷۴۲/۸۷	۱۱۷۳/۲۷	۴۱۶۸/۱۰
$OPI_{4p}$	۷۹۲/۴۰	۲۳۴۶/۵۴	۱۹۵۱/۰۲
$EOPI_{1p}$	۴۶۱/۵۷	-۱۱۷/۸۱	۲۱۲۲/۵۵
$EOPI_{2p}$	۲۹۸/۶۶	-۱۷۶/۷۲	۲۴۶۶/۷۴
$EOPI_{3p}$	۱۳۵/۷۵	-۳۵۳/۴۵	۲۶۹۶/۲۱
$EOPI_{4p}$	۱۴۴/۸۰	-۷۰۶/۹۱	۱۲۶۲/۰۵



شکل ۵ الف) کسر آب تزریقی اختصاص یافته به هر چاه تزریقی، ب) شاخص موثر تولید نفت برای هر یک از چاه‌های تزریقی



شکل ۶ مقایسه تولید تجمعی نفت در دو حالت بهبود یافته و غیر بهبود یافته



شکل ۷ مقایسه برش آب در دو حالت بهبود یافته و غیر بهبود یافته

## نتیجه‌گیری

برش آب کاهش یافته و بازیافت نهایی افزایش می‌یابد.

۳- پارامترهای تأثیرگذار در مدیریت تخصیص آب، برش آب در چاه‌های تولیدی و پیوستگی بین چاه‌ها است.

۴- پارامتر جدید تعریف شده تحت عنوان شاخص مؤثر تولید نفت برای یک چاه تزریقی تابعی از نرخ تولید، ضریب پیوستگی بین چاه‌ها و برش آب

۱- روش ظرفیت-مقاومت روشی سریع و کم هزینه است و تنها با اطلاعات مربوط به تاریخچه تولید و تزریق توانسته است یک ارزیابی اولیه از مخزن در اختیار قرار داده و به خوبی پیوستگی بین چاه‌ها را محاسبه نماید.

۲- با مدیریت تخصیص آب به چاه‌های تزریقی، عملیات سیلاب‌زنی به خوبی مدیریت شده و میزان



$I_i$ : نرخ تزریق چاه تزریقی  $i$  برحسب (bbl/day)  
 $J_p$ : ضریب بهره‌دهی چاه تولیدی  $p$  برحسب (bbl/psi.day)  
 $\Delta P_{wf,p}$ : تغییرات فشار ته‌چاهی چاه تولیدی  $p$  برحسب psi  
 $f_{ip}$ : ضریب پیوستگی چاه تزریقی  $i$  با چاه تولیدی  $p$   
 $WPI_{ip}$ : شاخص تولید آب برحسب (bbl/day) در چاه تولیدی  $p$  که در ارتباط با چاه تزریقی  $i$  می‌باشد  
 $WC_p$ : برش آب در چاه تولیدی  $p$  برحسب (کسر)  
 $OPI_{ip}$ : شاخص تولید نفت برحسب (bbl/day) در چاه تولیدی  $p$  که در ارتباط با چاه تزریقی  $i$  می‌باشد  
 $EOPi_i$ : شاخص مؤثر تولید نفت برای چاه تزریقی  $i$  برحسب (bbl/day)  
 $WLA_j$ : کسر آب تزریقی اختصاص یافته به چاه تزریقی  $i$ .

می‌باشد و این شاخص بیانگر ارتباط بهتر چاه تزریقی مورد نظر با چاه‌های تولیدی با تولید نفت بالا و تولید آب کم است.

۵- الگوریتم ارائه شده جهت بهبود تخصیص آب به چاه‌های تزریقی، باعث افزایش قابل توجه تولید تجمعی نفت و کاهش قابل توجه تولید تجمعی آب شده است که روشی قابل قبول و سریع جهت بهبود عملکرد پروژه‌های سیلاب‌زنی است.

### علائم و نشانه‌ها

$q_p$ : نرخ تولید سیال چاه تولیدی  $p$  برحسب (bbl/day)  
 $t$ : زمان برحسب (day)  
 $\tau_p$ : ثابت زمانی چاه تولیدی  $p$  برحسب (day)

### مراجع

- [1]. Hibbeler J. C. and Rae P. J., "The environmental benefits of reducing unwanted water production," SPE Asia Pacific Health, Safety and Environment Conference and Exhibition, Kuala Lumpur, Malaysia, 2005.
- [2]. Albertoni A. and Lake L. W., "Inferring interwell connectivity only from well-rate fluctuation in waterfloods," SPEREE, Vol. 6, No. 1, pp. 6-16, 2002.
- [3]. Yousef A. A., Gentil P. H., Jensen J. L. and Lake L. W., "A capacitive model to infer interwell connectivity from production and injection-rate fluctuation," SPEREE, Vol. 9, No. 5, pp. 630-646, 2005.
- [4]. Sayarpour M., Zuluaga E., Kabir C. S. and Lake L.W., "The use of capacitive resistive model for rapid estimation of waterflood performance," SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Anaheim, California, 2007.
- [5]. Liang X., Weber D. B., Edgar T. F., Lake L. W., Sayarpour M. and Yousef A. A., "Optimization of oil production based on capacitive model of production and injection rates," Hydrocarbon Economics an Evaluation Symposium, Dallas, Texas, 2009.
- [6]. Sayarpour M., Kabir C. S. and Lake L. W., "Field application of capacitive-resistive models in waterfloods," SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, 2009.
- [7]. Delshad M., Bastami A. and Pourafshari P., "The use of capacitive-resistive model for estimating of fracture distribution in the hydrocarbon reservoir," SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium, Khobar, Saudi Arabia, 2009.
- [8]. Lee K. H., Ortega A., Ghareloo A. and Ershaghi I., "An active method for characterization of flow units between injection/production wells by injection-rate design," SPEREE., Vol.14, No. 4, pp. 433-445.
- [9]. Can B. and Kabir C. S., "Simple tools for forecasting waterflood performance," SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, TX, 2012.

- [10]. Zhang Z., Li H. and Zhang D., " *Water flooding performance prediction by multilayer capacitance-resistive models combined with the ensemble Kalman filter,*" J. Pet. Sci. Eng., Vol. 127, pp. 1-19, 2015.
- [11]. Eshraghi S. E., Rasael M. R. and Zendejboudi S., " *Optimization of miscible CO<sub>2</sub> EOR and storage using heuristic methods combined with capacitance/resistance and Gentil fractional flow models,*" J. Nat. Gas Sci. Eng., Vol. 32, pp. 304– 318
- [12]. Rafiei Y., " *Improved oil production and wateflood performance by water allocation management,*" Ph.D Thesis, Heriot Watt university, Edinburgh, Scotland, 2014.

Archive of SID