



## تأثیر یون‌های ایجادکننده پتانسیل ( $\text{Ca}^{2+}$ و $\text{Mg}^{2+}$ ) در حضور سولفات ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) رویتروشوندگی مخازن کربناته در فرآیند تزریق آب هوشمند

مالک جلیلیان<sup>۱</sup>، مصیب کمری<sup>۲</sup>

انستیتوی مهندسی نفت دانشگاه تهران

Jalilian.mspe@gmail.com

### چکیده

مدت بیش از یک قرن است که از سیلابزنی مخازن نفتی به عنوان شیوه‌ای برای بهبود بازیافت نفت به دو دلیل استفاده می‌شود: (آ) تثبیت فشار مخزن به منظور جلوگیری از تولید گاز، (ب) جابجا کردن نفت با نیروی چسبندگی به سمت چاه‌های تولیدی. ترشوندگی، یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در فرآیند تولید نفت از مخزن است، به طوری که آبدوستی مخزن، به تولید بیشتر و آسانتر ختم می‌شود، در حالی که نفت‌دوستی بیشتر، ضریب بازیافت پایین‌تر از مخزن را به دنبال داشته و همواره برداشت از مخازن نفت‌دوست چالش‌برانگیز بوده است. تزریق آب هوشمند (سیلابزنی هوشمند) به عنوان شیوه‌ای نو در ازدیاد برداشت در نظر گرفته می‌شود که به دلایل مختلفی، نظیر اقتصادی بودن انجام فرآیند در مقیاس میدانی، عدم نیاز به تجهیزات پیشرفته، کارایی آن برای افزایش ضریب بازیافت و ... در سال‌های اخیر تحقیقات وسیعی را به سمت خود معطوف کرده است. آب هوشمند در واقع آبی است که ترکیب آن از لحاظ ترکیب یونی و میزان شوری، بهینه شده است. این بهینه‌سازی عمدتاً با استفاده از نمک‌های سولفات‌دار شامل منیزیم سولفات ( $\text{MgSO}_4$ ) و کلسیم-سولفات ( $\text{CaSO}_4$ ) صورت می‌گیرد و دلیل آن وجود یونهای  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{Mg}^{2+}$  و  $\text{SO}_4^{2-}$  است که روی بار سطحی سنگ‌های کربناته تأثیر می‌گذارند و به آن‌ها «یون‌های ایجادکننده»

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی نفت- مخازن هیدروکربوری

<sup>۲</sup> کارشناسی مهندسی نفت- مخازن هیدروکربوری- شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب



پتانسیل» گفته می‌شود. کاربرد تزریق آب هوشمند نتایج قابل قبولی را هم در مقیاس آزمایشگاهی و هم در مقیاس میدانی به‌دنبال داشته است و اصلی‌ترین مکانیزمی که برای عملکرد آن در نظر گرفته می‌شود، تغییر ترشوندگی کربناته‌ها به سمت آب‌دوستی بیشتر است. در این مقاله، به بررسی نقش یون‌های ایجادکننده پتانسیل در تغییر ترشوندگی کربناته‌ها و مکانیسم اثرگذاری آن‌ها می‌پردازیم.

**کلمات کلیدی:** ازدیاد برداشت، سیلابزنی، مخازن کربناته، آب هوشمند، یون‌های ایجادکننده پتانسیل.

## ۱- مقدمه

بیش از ۵۰ درصد از ذخایر نفتی جهان در مخازن کربناته قرار دارند که این مخازن شامل ترکیبات آهک، چالک و دولومیت می‌باشند. آب سازندی ممکن است درجه شوری بالایی داشته‌باشد و معمولاً غنی از یون  $Ca^{2+}$  است. برداشت نفت از مخازن کربناته به دلایل مختلفی همچون: آب‌دوستی ضعیف، شکاف‌های طبیعی، تراوایی پایین و خواص سنگ ناهمسان به‌طور متوسط کمتر از ۳۰ درصد است.

در فرآیند سیلابزنی، به‌طور سنتی آب دریا به عنوان منبع تزریق در نظر گرفته می‌شود. اما ثابت شده است که تزریق آب با ترکیبی متفاوت از آب دریا، ممکن است به بهبودهایی در بازیافت نفت منجر شود. لذا آب هوشمند به عنوان سیالی تعریف می‌شود که میزان شوری و ترکیب یونی آن به منظور افزایش بیشتر ضریب بازیافت نسبت به سیلابزنی معمولی، بهینه می‌شود و آنچه که در متون، تحت عنوان تزریق آب با شوری کم مطرح می‌شود، به عنوان زیر مجموعه‌ای از آب هوشمند و در واقع حالت خاصی است که فقط میزان شوری آب تزریقی، کم شده و تغییر ترکیب یونی آن مورد توجه قرار نمی‌گیرد. در دهه‌های اخیر، تزریق آب با میزان شوری کم و ترکیب یونی بهینه، در مخازن ماسه‌سنگی به‌عنوان روش نوین ازدیاد برداشت توسعه یافته است که باعث بهبود کارایی جابه‌جایی و کاهش اشباع آب باقیمانده در مخزن می‌شود [1]. اما هنوز هم یکی از چالش‌های اصلی پیش رو در کاربرد سیلابزنی با میزان شوری پایین، فقدان توضیحی جامع برای چگونگی عملکرد آن و مکانیسم‌های حاکم بر آن برای افزایش بازیافت است [2]. ساز و کارهای متعددی در متون برای عملکرد تزریق آب با شوری پایین در مخازن ماسه‌سنگی آمده است. تانگ و مورو (۱۹۹۹)، پیشنهاد دادند که افزایش بازیافت با این روش به‌دلیل انبساط لایه دوگانه در طول کاهش میزان شوری و به‌تبع آن، پراکندگی آسان‌تر رس از اجزای نفتی است. وقتی میزان شوری کاهش می‌یابد، لایه دوگانه انبساط یافته و اجزای قطبی نفت را که به کاتیون‌های دوظرفیتی پیوند خورده‌اند، می‌توانند تبادل شوند [3]. به‌خوبی نشان داده شده است که تأثیر میزان شوری پایین منوط به وجود کانی‌های رسی است و این تأثیر خود را با تغییر ترشوندگی کانی‌های رسی نشان می‌دهد. سازوکارهای اصلی پیشنهادی برای عملکرد آب با میزان شوری پایین عبارتند از:

- مهاجرت دانه‌های ریز
- افزایش pH (که به کاهش تنش میان‌رویه می‌انجامد).
- تبادل یونی چندگانه
- انبساط لایه دوگانه