

## تأثیر توسعه فناوری شکست هیدرولیکی بر منابع آب

اعظم محمدباقری\*، احمد فرمهبینی فراهانی، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۶/۲۹

تاریخ ارسال به بازرین: ۹۵/۰۷/۰۳

تاریخ پذیرش بازرین: ۹۵/۰۹/۲۴

### واژگان کلیدی:

توسعه فناوری، شکست هیدرولیکی، تولید نفت و گاز، آلودگی منابع آب

### چکیده

فناوری شکست هیدرولیکی به منظور افزایش میزان تولید نفت و گاز از لایه‌های با تراوایی پایین، بسیار مؤثر است. این فناوری با ایجاد شکاف و افزایش تراوایی در سازندهای هیدروکربوری موجب صرفه اقتصادی استخراج نفت از منابع نامتعارف نظیر شیل‌های نفتی و گازی می‌گردد. اما این عملیات ممکن است اثرات زیست‌محیطی مخربی به همراه داشته باشد و به خصوص سفره‌های آب شرب زیرزمینی را آلوده نماید. چراکه شکاف‌های موردنظر ممکن است در جهت‌های ناخواسته پیش رفته و اتصالاتی مابین مخازن هیدروکربوری و لایه‌های آب شرب برقرار نمایند. لذا با ورود مواد شیمیایی مورد استفاده در عملیات شکست هیدرولیکی، ورود آب‌های شور و فلزات سنگین و مضر سازندهای هیدروکربوری و یا ورود سیالات نفت و گاز به لایه‌های آب شرب، آلودگی این منابع را به همراه داشته و به تبع آن خطرات بسیار جدی در خصوص سلامت انسانی حادث خواهد شد.

با توجه به گرانی نفت در سال‌های گذشته، استخراج نفت و گاز از منابع نامتعارف شیلی پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته به طوری که با کاهش قیمت نفت در یکسال اخیر، استخراج از منابع نامتعارف تنها مقداری کاهش یافته است. لذا بسیاری از مخاطرات زیست‌محیطی همچنان به قوت خود باقی هستند. بنابراین در این مقاله به آسیب‌ها و مخاطرات ناشی از آلودگی این منابع پرداخته شده و راهکارهایی جهت کاهش این آسیب‌ها ارائه می‌گردد.

### مقدمه

ارائه ترکیبات مواد شیمیایی مورد استفاده در آب مصرفی می‌نماید که باعث شفافیت فعالیت‌های این شرکت‌ها گردیده است. حتی این موضوع، در حال حاضر به یکی از مواضع نامزدهای ریاست جمهوری آمریکا در تبیین سیاست‌های انرژی آنها تبدیل شده است به گونه‌ای که دموکرات‌ها به دلیل آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از اقدامات شکست هیدرولیکی در استخراج از منابع شیل، حاضر به محدود نمودن افزایش تولید از این منابع هستند.

بر مبنای گزارش آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (EPA)<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۵، برخی از ساکنان نزدیک به مناطق چاه‌های نفت و گاز شیل، تغییر در کیفیت منابع آبی را گزارش کرده و مدعی شده‌اند که شکست هیدرولیکی مسئول اصلی این تغییرات بوده و آسیب‌های جدی به آن وارد نموده است. این نگرانی‌ها به‌ویژه در مناطقی که با کمبود آب مواجه‌اند، بسیار بیشتر بوده و نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر می‌باشد. لذا با توجه به اهمیت موضوع و تأثیر توسعه این فناوری بر منابع آب شرب، این اثرگذاری مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار خواهد گرفت.

### ۱- شکست هیدرولیکی

شکست هیدرولیکی از اواخر دهه ۱۹۴۰ در تولید نفت و گاز مورد استفاده قرار گرفته و در ۵۰ سال اول بیشترین کاربرد آن در چاه‌های عمودی بوده است. پیشرفت‌های فناوری (از جمله حفاری افقی و جهت‌دار) موجب به کارگیری این روش در سازندهای هیدروکربوری

در گذشته تولید نفت و گاز تنها از میادین و مخازنی امکان‌پذیر بود که دارای تراوایی مناسبی بودند اما با پیشرفت تکنولوژی و استفاده از فناوری شکست هیدرولیکی<sup>۱</sup> به همراه فناوری‌های پیشرفته حفاری، تولید از منابع نامتعارف شیل نیز ممکن شده و منافع بسیاری را برای کشورهای دارنده به ارمغان آورده است. اما این فناوری تنها به مخازن نامتعارف محدود نبوده و در مخازن متعارف دارای تراوایی معمولی نیز استفاده می‌شود.

از جمله مشکلات زیست‌محیطی این فناوری، نشست متان به جو زمین است که اثر گلخانه‌ای آن بیش از ۲۰ برابر دی‌اکسید کربن می‌باشد. مشکل دیگر، آب برگشتی از عملیات شکست هیدرولیکی است که حاوی مواد سمی و فلزات سنگین وارد شده از مخزن می‌باشد. گسترش شکستگی‌ها و امکان اتصال این مخازن به سفره‌های آب زیرزمینی و آلودگی آنها نیز از دیگر اثرات نامطلوب این فناوری است. از اینرو فعالان محیط‌زیست و مردم مناطق نزدیک به شیل‌نفت‌ها، نسبت به برداشت از این منابع که منجر به تغییر اقلیم آب و هوایی کره زمین می‌شوند، هشدار داده‌اند (به‌ویژه در آمریکا که فعالان محیط‌زیست قدرت بسیاری دارند). علیرغم مشکلات مطرح شده، بسیاری از کشورهایی که صاحب فناوری حفاری افقی و شکست هیدرولیکی هستند، در راستای بهره‌برداری از این منابع نامتعارف نفت و گاز، سرمایه‌گذاری‌های کلانی انجام داده‌اند. البته این کشورها به‌منظور کاهش اثرات منفی این فناوری، قوانین و مقرراتی را نیز تنظیم نموده‌اند. به‌طور مثال، در آمریکا قانونی تصویب شده است که شرکت‌های نفتی را ملزم به استفاده از استانداردهای بالاتر و همچنین

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (amohamadbagheri@gmail.com)



آوردند. از این رو توسعه بهره‌برداری از منابع شیل در نقاط مختلف جهان از سال ۲۰۰۳، موازنه انرژی جهان را که تا پیش از این تکیه بر نفت و گاز فسیلی داشت، برهم زد. به‌ویژه فناوری‌های نوین از جمله حفاری افقی در ژرفای زمین و عملیاتی شدن استفاده از فناوری شکست هیدرولیکی، استفاده از این منابع را مقرون به صرفه ساخت. با این حال هر چند در چند ماهه نخست سال ۲۰۱۶ روند کاهش قیمت نفت موجب کند شدن استخراج نفت و گاز از منابع نامتعارف گردید، لیکن توسعه این فناوری استخراج از منابع نامتعارف، در دوران نفت گران را نباید از نظر دور داشت.

اداره انرژی آمریکا در چشم‌انداز انرژی خود در سال ۲۰۱۶ (AEO 2016) نشان می‌دهد که تولید گاز طبیعی از منابع شیل رشد ملایمی خواهد داشت در حالی که تولید از منابع دیگر نسبتاً ثابت مانده و یا کاهش می‌یابد. بر مبنای این گزارش، تولید گاز طبیعی از منابع نامتعارف شیل و ماسه‌های نفتی در حدود نیمی از کل تولید گاز طبیعی ایالات متحده را تشکیل می‌دهد و بر اساس سناریوی مرجع پیش‌بینی می‌شود که تولید گاز از این منابع از حدود ۱۴ تریلیون متر مکعب (Tcf) در سال ۲۰۱۵ به ۲۹ تریلیون متر مکعب در سال ۲۰۴۰ افزایش یابد. این میزان برابر با ۶۹ درصد کل تولید گاز طبیعی در آمریکا خواهد بود (شکل ۲-۱).

بر این اساس ادامه روند تولید گاز از منابع شیل می‌تواند گویای ادامه استفاده از فناوری شکست هیدرولیکی باشد که قابل تأمل است.

### ۳- مجاورت فعالیت‌های شکست هیدرولیکی و منابع آب آشامیدنی

به‌طور کلی تغییرات قیمت نفت و گاز در کوتاه‌مدت از عوامل بروز نوسان در تعداد چاه‌های حفر شده با استفاده از شکست هیدرولیکی بوده است. هرچند کاهش قیمت نفت، کندی بسیاری از این فعالیت‌ها را به دلیل غیراقتصادی بودن استخراج نفت به‌ویژه استخراج از منابع شیل در پی داشته، اما این فناوری در دوران نفت گران توسعه مناسبی یافته است. برآورد EPA حاکی از آن است که بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ تعداد ۲۵۰۰۰-۳۰۰۰۰ چاه جدید حفر شده که در آنها شکست هیدرولیکی انجام شده است. همچنین EPA اعلام می‌کند که طی سال‌های ۲۰۰۰ تا

نامتعارف (نظیر شیل‌های نفتی و گازی) شده است، از این رو استفاده از این روش اکنون سهم قابل توجهی را در تولید نفت و گاز در سراسر دنیا به خود اختصاص داده است. در این روش ابتدا سیالی با گرانروی کم و تحت فشار بالا برای ایجاد شکاف و گسترش آن به چاه وارد می‌شود. سپس سیال اصلی که گرانروی بیشتری دارد به چاه تزریق می‌گردد. این سیال حاوی مقدار مناسبی از مواد افزودنی، شن و ماسه مخصوص است که باعث افزایش وسعت شکاف‌ها می‌شود، پس از آن، نفت و گاز از طریق شکاف‌ها جریان پیدا کرده و به سطح می‌رسند.

فرایند شکست هیدرولیکی معمولاً در یک چرخه آب بررسی می‌شود. در واقع جزء اصلی اغلب سیالات به کار رفته در شکست هیدرولیکی، آب است که حدود ۹۴/۶ درصد حجمی این سیالات را به خود اختصاص می‌دهد و این آب از آب‌های سطحی و یا زیرزمینی تأمین می‌گردد. بنابراین این چرخه از تأمین آب به‌عنوان مهم‌ترین سیال تزریقی (سیال پیش‌برنده)<sup>۲</sup> شروع می‌شود. در اغلب موارد به آب به کار رفته در این فرایند، مواد شیمیایی افزوده می‌شود که مقاصد گوناگونی دارد. در برخی موارد، استفاده از این مواد در جهت عملکرد بهتر آب به لحاظ ایجاد شکستگی و حمل مواد پروپانت (حائل شونده) در اعماق سنگ مخزن خواهد بود و در برخی موارد به منظور جلوگیری از خوردگی تجهیزات، نابودی باکتری‌ها و کنترل PH به کار می‌رود. در مرحله بعد به‌منظور شکست سازند زیرزمینی، سیال به چاه تزریق می‌شود. البته با پمپ نمودن آب به درون چاه، تمامی طول چاه تحت فشار قرار نمی‌گیرد بلکه با قراردادن مجرایندها<sup>۳</sup>، تنها به منطقه موردنظر فشار اعمال خواهد گردید و این منطقه است که تمامی فشار پمپاژ را دریافت می‌نماید. هنگامی که فشار در این منطقه رفته‌رفته بالا می‌رود، آب، شکستگی‌ها را ایجاد نموده و فشار پیش‌برنده سبب بسط آنها در عمق سنگ می‌گردد. هنگامی که پمپاژ متوقف شود، این شکستگی‌ها به سرعت بسته می‌شوند و آب به کار رفته جهت باز نمودن آنها به درون سوراخ حفاری عقب رانده شده، به سمت بالا رفته و در سطح جمع‌آوری می‌گردد. آبی که به سطح باز می‌گردد، ترکیبی از آب تزریق شده و آب منفذی<sup>۴</sup> است که برای میلیون‌ها سال در لایه‌های زیرزمینی به دام افتاده است. این آب منفذی معمولاً یک آب شور محتوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای جامدات محلول می‌باشد. در مرحله بعد، آب بازگشتی می‌تواند به واحدهای تصفیه و فراورش انتقال یابد. شکل ۱- مراحل مختلف چرخه آب در شکست هیدرولیکی را نشان می‌دهد.

### ۲- شکست هیدرولیکی و تولید نفت و گاز از منابع شیل

به‌طور کلی استخراج نفت و گاز از منابع نامتعارف نفت و گاز نظیر شیل‌ها، هزینه‌های بالایی به‌همراه دارند. لذا یکی از عواملی که می‌تواند استخراج از این منابع را اقتصادی نماید، افزایش قیمت نفت است. کشورهای صنعتی پیشرفته و مصرف‌کننده عمده انرژی، به‌ویژه ایالات متحده آمریکا که همواره در پی یافتن منابع انرژی پایدار برای حفظ آهنگ رشد اقتصادی و اقتدار صنعتی خود بوده‌اند، در چند سال قبل با افزایش قیمت نفت خام و رسیدن آن به بالاتر از ۱۰۰ دلار برای هر بشکه، به رهیافت توسعه بهره‌برداری از منابع نفت و گاز شیل روی

منابع آب آشامیدنی را در پی دارد. برداشت از منابع آب زیرزمینی بیش از نرخ استاندارد آن، ذخایر آب را در سفره‌های زیرزمینی کاهش داده و اجازه نفوذ آب با کیفیت پایین‌تر، از سطح زمین یا سازندهای مجاور را به داخل این سفره‌ها می‌دهد. برداشتها همچنین می‌توانند تخلیه آب‌های زیرزمینی را به داخل مسیره‌های جریان کاهش داده و به صورت بالقوه بر کیفیت آب‌های سطحی اثر گذار باشند. این در حالی است که مناطقی که در معرض خشکسالی قرار داشته و از آب‌های زیرزمینی تغذیه می‌شوند، بیشترین تأثیر را خواهند پذیرفت. برداشت از آب‌های سطحی نیز بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارند. این برداشتها می‌تواند سطوح آب را کاهش داده و مسیره‌های جریان را تغییر دهند و لذا ظرفیت جریان را برای رقیق نمودن آلاینده‌ها دچار کاهش نمایند. بر اساس گزارش آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (EPA, 2010) مقدار آب مصرفی برای هر چاه به مشخصات سازند (عمق، تخلخل، نوع سازند و ...)، پارامترهای طراحی شکست هیدرولیکی (طول شکست، تعداد شکست‌ها و جهت آنها، تعداد دفعات انجام شکست در هر چاه و ...) و همچنین مشخصات سیال مورد استفاده و فشار آن، بستگی دارد. مطابق این بررسی به‌طور متوسط برای هر چاه حدود ۳ تا ۴ میلیون گالن (۱۱ تا ۱۵ میلیون لیتر) آب مورد نیاز است. در ادامه این گزارش می‌افزاید که در طول ۱۰ سال، بر روی حدود ۱۳۶۰۰ حلقه چاه شکست هیدرولیکی انجام شده و در مجموع حدود ۲۰۰ میلیارد لیتر آب مصرف شده است که این میزان آب برابر با مقدار آب مصرفی در یک شهر با جمعیتی در حدود ۲/۶ میلیون نفر در یک سال بوده است. لذا مقدار آب مصرفی برای این عملیات بسیار زیاد و قابل توجه می‌باشد. همچنین مطابق گزارش دیگری از این آژانس (EPA, 2013)، مقدار آب مصرفی برای تولید هر بشکه نفت خام، حدود ۲۵ لیتر می‌باشد که با توجه به تولید ۳/۵ میلیون بشکه‌ای نفت شیل آمریکا در این سال، مقدار آب مصرفی به‌طور کلی افزایش چشمگیری داشته است (بیش از ۳۰ میلیارد لیتر در یک سال). این در حالی است که حدود ۴۰ درصد از منابع نفت و گاز شیل در مناطقی واقع شده‌اند که با کمبود جدی آب مواجه‌اند.

#### ۴-۲- مواد شیمیایی

مواد شیمیایی درصد کمی (معمولاً ۲ درصد یا کمتر) از کل حجم سیال تزریقی را تشکیل می‌دهند. ترکیب مواد شیمیایی و سیالات شکست هیدرولیکی، پتانسیل آن را دارند که به‌صورت تصادفی آزاد شده و محل را آلوده نمایند. اثرات بالقوه مواد شیمیایی بر منابع آب آشامیدنی ناشی از نشت سیال شکست هیدرولیکی و مواد شیمیایی با توجه به مشخصه‌های نشت، میزان انتقال و سمی بودن نشت مواد شیمیایی می‌باشد. معمولاً خرابی تجهیزات، خطای انسانی، نارسایی تجهیزات جلوگیری از فوران چاه نفت، خوردگی‌ها، شکستگی شیرآلات و سایر موارد (مانند آب و هوا) موجب نشت مواد شیمیایی و جریان مواد شیمیایی از چاه به آب‌های سطحی، آلودگی خاک، انتقال و نفوذ در آب‌های سطحی، آلودگی آب‌های زیرزمینی و در نتیجه آلودگی منابع آب آشامیدنی شود.

۲۰۱۳ تقریباً ۹/۴ میلیون نفر در یک مایلی این چاه‌ها زندگی می‌کردند و لذا احتمال زیادی وجود دارد که این چاه‌ها در نزدیکی مناطق مسکونی و منابع آب آشامیدنی واقع شده باشند. اگر چه مجاورت فعالیت‌های شکست هیدرولیکی با منابع آب به خودی خود برای اثرگذاری کافی نیست، لیکن پتانسیل تأثیرگذاری را افزایش می‌دهد (EPA, 2015). به‌طور کلی آب مورد نیاز برای شکست هیدرولیکی از آب‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی و یا آب‌های دفعی برگشتی تأمین می‌شود. به‌عنوان مثال در شیل مارسلوس<sup>۶</sup> در پنسیلوانیا، بیشترین میزان آب مورد استفاده در شکست هیدرولیکی را آب‌های سطحی تشکیل می‌دهند در حالی که در شیل برنت<sup>۷</sup> تگزاس، آب‌های سطحی و زیرزمینی در ابعاد تقریباً مساوی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مناطقی که با کمبود منابع آب سطحی روبه‌رو هستند مانند تگزاس غربی، از آب‌های زیرزمینی برای شکست هیدرولیکی استفاده می‌شود.

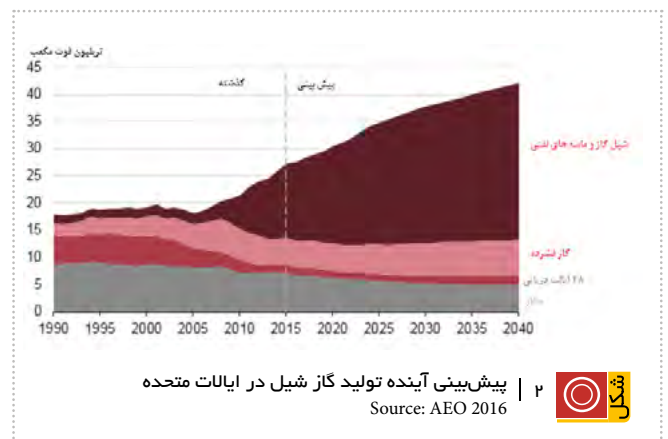
بر اساس گزارش (NatGeo (۲۰۱۵)، با ایجاد اختلال در منطقه‌ای که از آن، شیل نفت استخراج می‌شود، به سفره‌های زیرزمینی آب که منابع اصلی تأمین آب رودخانه‌ها و آب مورد نیاز میلیون‌ها نفر در آمریکاست، آسیب جدی وارد شده است. در سرتاسر ایالات متحده، اغلب آب مورد استفاده برای شکست هیدرولیکی، آب رودخانه‌ها و منابع زیرزمینی است. هر چند برخی شرکت‌ها از آب با کیفیت پایین‌تر شامل آب دفعی نیز در شکست هیدرولیکی استفاده می‌کنند اما تعداد آنها بسیار کم است. نیمی از منابع شیل نفت آمریکا در مناطق کم‌آبی قرار گرفته‌اند که خود با مشکلات کم‌آبی مواجه بوده و نیاز مبرم به آب شرب دارند. این وضعیت به حدی وخیم است که میزان آب مورد نیاز برای تولید شیل نفت‌ها، از میزان کل حجم آبی که برای تمامی مصارف انسان در سال ۲۰۰۸ مصرف شده است، بیشتر بوده است.

#### ۴-۳- تأثیر شکست هیدرولیکی بر منابع آب

در این قسمت تأثیر عملیات شکست هیدرولیکی بر منابع آب آشامیدنی در چرخه آب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۴-۱- تأمین آب

برداشت آب به‌منظور انجام فرایند شکست هیدرولیکی، تغییر کیفیت



#### ۴-۳- تزریق به چاه

در فرایند شکست هیدرولیکی، سیالات با فشار بسیار بالا به چاه‌های نفت یا گاز تزریق می‌شوند. تزریق سیال و ایجاد شکاف از دو طریق می‌تواند موجب آلودگی منابع آب آشامیدنی شود:

- حرکت ناخواسته سیالات مایع یا گاز به خارج از چاه تولیدی به سمت منابع آب آشامیدنی به دلیل نقص در پوشش لوله جداری و سیمان کاری
- حرکت ناخواسته سیالات مایع یا گاز از منطقه تولید و سازندهای زیرسطحی به منابع آب آشامیدنی.

بر مبنای گزارش EPA در داکوتای شمالی بخشی از رشته لوله جداری یک چاه در حین انجام عملیات شکست هیدرولیکی، دچار شکست و از هم گسیختگی شده و باعث ورود سیالات نفت و گاز به سطح زمین و منابع آب در نزدیکی لایه کیلیدر<sup>۱</sup> گردید. در موارد دیگر، نامناسب بودن سیمانکاری لوله جداری باعث آلودگی منابع آب شرب شده است. در ایالت اوهایو، نامناسب بودن سیمانکاری لوله جداری در حین انجام عملیات شکست هیدرولیکی، باعث بالا رفتن فشار گاز طبیعی در لایه‌های زیرزمینی اطراف چاه تولیدی شده و سرانجام منجر به حرکت گاز طبیعی و ورود آن به منابع آب شرب موجود در این لایه‌های زیرزمینی گردیده است (Bair et al., 2010; ODNr, 2008).

انجام شکست هیدرولیکی در چاه‌های قدیمی، احتمال آلودگی منابع آب شرب را با حرکت گازها و مایعات داخل چاه‌های تولیدی افزایش می‌دهد. علاوه بر این، انجام عملیات شکست هیدرولیکی در چاه‌های با عمر بالا، ممکن است باعث تخریب و شکافته شدن لوله جداری گردد. همچنین میزان مجاورت لوله جداری با سیالات خورنده همانند سولفید هیدروژن، دی‌اکسید کربن و آب‌های شور نیز می‌تواند این تخریب را سرعت بخشد.

برخی لایه‌های زیرزمینی وجود دارند که هم حاوی منابع نفت و گاز و هم حاوی منابع آب آشامیدنی می‌باشند. از آنجایی که برخی سیالات تمایل به باقی ماندن در لایه‌های زیرزمینی را دارند، نفوذ سیالات مورد استفاده در شکست هیدرولیکی به لایه حاوی منابع آب آشامیدنی، مستقیماً بر روی کیفیت آب اثر خواهند گذاشت. همچنین اگر یک چاه حاشیه‌ای تحمل تنش‌های ناشی از شکست هیدرولیکی چاه مجاور را نداشته باشد، اجزاء چاه ممکن است دچار شکستگی شده و در نتیجه سیالات از سطح و توسط این چاه به منابع آب آشامیدنی راه یابند. چاه‌های قدیمی‌تر یا چاه‌های غیرفعال (شامل چاه‌های نفت و گاز، چاه‌های تزریقی و یا چاه‌های آب شرب) نزدیک به عملیات شکست هیدرولیکی، از پتانسیل بالاتری برای ایجاد راه‌های ارتباطی جهت آلودگی منابع آب شرب برخوردارند (Ajani and Kelkar, 2012).

#### ۴-۴- جریان برگشتی یا آب تولیدی

آب با کیفیت متغیر، محصول جانبی چاه‌های تولیدی نفت و گاز می‌باشد. بعد از شکست هیدرولیکی و برداشتن فشار تزریق سیالات از روی چاه، جریان برگشتی آب از چاه تولید می‌گردد. در ابتدا این آب همان سیال مورد استفاده در شکست هیدرولیکی است، اما با

گذشت زمان ترکیب آن تحت تأثیر سیال داخل سازند قرار گرفته و رفته‌رفته سیال داخل سازند تولید خواهد شد. (برخی مواقع در مراجع علمی، آب اولیه تولیدی بعد از شکست هیدرولیکی، جریان برگشتی نامیده می‌شود. همچنین به سیالات شکست هیدرولیکی و هر نوع آبی که از سازند به سطح برمی‌گردد، در مجموع، آب تولیدی گفته می‌شود).

آلوده شدن منابع آب آشامیدنی می‌تواند با ورود و یا نشت آب تولیدی به داخل آب‌های سطحی یا آب‌های زیرزمینی رخ دهد. انتقال محیطی ترکیبات مواد شیمیایی موجود در آب تولیدی به خصوصیات نشت (مانند حجم و مدت زمان نشت)، ترکیب سیال نشت شده و خصوصیات محیط اطراف بستگی دارد.

#### ۴-۵- دفع پساب و مدیریت آن

دفع پساب و مدیریت آن ممکن است به چندین روش مختلف بر منابع آب آشامیدنی تأثیر بگذارد که شامل موارد ذیل است:

- عدم تصفیه مناسب پساب قبل از تخلیه آن به داخل آب دریافتی
- نشت یا ورود تصادفی پساب از چاله ذخیره‌سازی در حین حمل و نقل آن

- تخلیه غیرمجاز پساب‌ها
- مهاجرت ترکیبات آلاینده پساب از طریق خاک
- مدیریت نامناسب مواد باقیمانده در تصفیه پساب
- تجمع ترکیبات آلاینده پساب در رسوبات آبریزه‌های نزدیک به تأسیسات تصفیه پساب (CWT) و
- استفاده از روش‌های عمومی تصفیه فاضلاب خانگی (POTW) برای تصفیه پساب‌های حاصل از شکست هیدرولیکی.

البته با توجه به تزریق پساب‌های حاصل از شکست هیدرولیکی به چاه‌ها و انتقال کنترل شده آنها به لایه‌های زیرزمینی، احتمال آلودگی منابع آب آشامیدنی توسط این پساب‌ها تقریباً صفر است (EPA, 2015).

چنانچه پساب حاصل از شکست هیدرولیکی بعد از یک تصفیه نامناسب به درون آب‌های سطحی تخلیه شود، احتمال آلودگی منابع آب آشامیدنی وجود خواهد داشت. عدم تصفیه مناسب پساب حاصل از شکست هیدرولیکی ممکن است غلظت رسوبات موجود (TDS)، غلظت برومید، کلرید و ید را در آب دریافتی افزایش دهد. ضروری است که نظارت بر واحدهای تصفیه آب آشامیدنی برای کنترل و عدم تشکیل این مواد به درستی انجام شود، چراکه برخی از آنها سمی بوده و می‌توانند باعث بروز سرطان گردند.

پساب‌های حاصل از شکست هیدرولیکی همچنین حاوی ترکیبات دیگری مانند باریوم، بورون، و فلزات سنگین هستند. وجود باریوم در آب تولیدی همراه گاز در لایه‌های رسی اثبات شده است. ولی داده‌های بسیار کمی در خصوص غلظت فلز و ترکیبات آلی در پساب‌های تصفیه شده و تصفیه نشده وجود دارد تا بتوان ارزیابی نمود که آیا عملیات تصفیه و تخلیه پساب مؤثر بوده و تأثیری بر منابع آب آشامیدنی در پایین دست داشته است یا خیر (EPA, 2015).

## نتیجه گیری

استفاده از فناوری‌هایی نظیر شکست هیدرولیکی، در بهره‌برداری از منابع نامتعارف نفت و گاز، صرفه‌های اقتصادی بسیاری را در پی خواهد داشت. اما در زمینه تخریب‌های زیست‌محیطی و آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی و همچنین مصرف بسیار زیاد آب، مشکلات عدیده‌ای را به همراه دارد. آلودگی منابع آب به دو صورت مستقیم (سرریز آلاینده‌ها به منابع آب) و غیرمستقیم (از طریق آلودگی خاک) می‌تواند انجام گیرد و علاوه بر آلودگی آب، زمینه‌ساز مخاطرات اجتماعی نیز خواهد شد. در هر حال لازم است موارد زیر در استفاده از این فناوری مدنظر قرار گیرد:

- برای انجام شکست هیدرولیکی ابتدا باید مطالعات زیادی بر روی لایه‌های مختلف زیرزمینی و نحوه قرارگیری آنها در مجاورت هم انجام گرفته (لایه‌های حاوی نفت، گاز و آب شرب) و تأثیر دقیق شکست هیدرولیکی بر روی لایه‌های مجاور، سنگ‌پوش مخزن، احتمال شکست سنگ پوش و نفوذ نفت و گاز به لایه حاوی آب شرب و دیگر موارد مرتبط، مورد بررسی کامل قرار گیرند. به عبارت دیگر، طراحی عملیات شکست هیدرولیکی باید همراه با بررسی تمامی احتمالات در زمینه نفوذ مواد شیمیایی یا آب برگشتی و یا سیالات نفت و گاز به لایه‌های آب شرب زیرزمینی، انجام گیرد به طوری که با انجام این بررسی‌ها، سازمان‌های ذیربط نسبت به عدم آلودگی منابع آب زیرزمینی اطمینان حاصل نمایند.

■ با توجه به فشار بسیار زیاد آب تزریقی به چاه برای انجام شکست هیدرولیکی، لازم است تأثیر آن بر چاه‌های مجاور، اعم از چاه‌های نفت

و گاز، چاه‌های تزریقی و همچنین چاه‌های آب شرب، نیز مورد بررسی قرار گیرد چراکه ممکن است این عملیات علاوه بر شکست سازند، پیامدهای دیگری نظیر شکست لوله جداری، سیمان پشت لوله جداری و دیگر تجهیزات چاه‌های مجاور را نیز به همراه داشته و این شکست باعث ایجاد راهی برای نفوذ سیالات آلاینده به منابع آب شرب گردد. ■ با توجه به استفاده اکثر شرکت‌ها از آب رودخانه‌ها و یا آب‌های زیرزمینی (آب تازه) برای انجام شکست هیدرولیکی، و از طرفی با توجه به حفاری تعداد بسیار زیاد چاه‌ها برای تولید از شیل‌ها و شکست هیدرولیکی اکثر آنها، مقدار آب مورد نیاز برای این تعداد چاه، بسیار زیاد است. لذا ضروری است شرکت‌های مذکور، مجاب به تصفیه آب برگشتی و استفاده مجدد از آن برای انجام شکست هیدرولیکی در چاه بعدی گردند (به خصوص در مناطق کم آب). با اجرای این فرآیند علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب و جلوگیری از خسارت‌های جبران‌ناپذیر بر منابع آب زیرزمینی، احتمال آلودگی آب‌های سطحی و به طور کلی محیط‌زیست نیز به شدت کاهش می‌یابد.

بدین ترتیب هر چند کاهش قیمت نفت، استخراج از منابع نامتعارف نفت و گاز را با کندی مواجه کرده است اما استخراج از این منابع به رشد ملایم خود ادامه خواهد داد که دلیل عمده آن، توسعه فناوری‌هایی نظیر شکست هیدرولیکی در دوران نفت گران بوده است. به کارگیری این نوع فناوری‌ها در کشورهای خشک می‌باید با دقت و حساسیت بالایی صورت پذیرد چراکه در کنار صرفه اقتصادی ناشی از آن، باید بررسی نمود که چه خسارت‌هایی نیز به همراه دارد.

## پانویس‌ها

- |                                       |                    |                  |
|---------------------------------------|--------------------|------------------|
| 1- Hydraulic Fracturing               | 4- Plugs           | 7- Barnett Shale |
| 2- US Environmental Protection Agency | 5- Pore Water      | 8- Killdeer      |
| 3- Driving Fluid                      | 6- Marcellus Shale |                  |

## منابع

- investigations-reports-violations-reforms#THR
- [5] EIA (Energy Information Administration). (2015a). Glossary. Available online at <http://www.eia.gov/tools/glossary/>
- [6] ODNr, DMRM, (Ohio Department of Natural Resources, Division of Mineral Resources Management). (2008). Report on the investigation of the natural gas invasion of aquifers in Bainbridge Township of Geauga County, Ohio. Columbus, OH: ODNr. <http://oilandgas.ohiodnr.gov/portals/oilgas/pdf/bainbridge/report.pdf>
- [7] The Annual Energy Outlook 2016 (AEO2016)
- [8] U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2015j). Retrospective case study in Killdeer, North Dakota: study of the potential impacts of hydraulic fracturing on drinking water resources [EPA Report]. (EPA 600/R-14/103). Washington, D.C.
- [1] مطالعه‌ای بر شیل‌های گازی و عملیات استخراج به کمک شکاف هیدرولیکی، دوماهنامه انجمن صنفی کارفرمایی صنعت پتروشیمی، سال اول، شماره دوم، آذر ۱۳۹۲
- [2] Ajani, A; Kelkar, M. (2012). Interference study in shale plays. Paper presented at SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference, February 6-8, 2012, The Woodlands, TX.
- [3] Assessment of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resources, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2015
- [4] Bair, ES; Freeman, DC; Senko, JM. (2010). Subsurface gas invasion Bainbridge Township, Geauga County, Ohio. (Expert Panel Technical Report). Columbus, OH: Ohio Department of Natural Resources. <http://oilandgas.ohiodnr.gov/resources/>