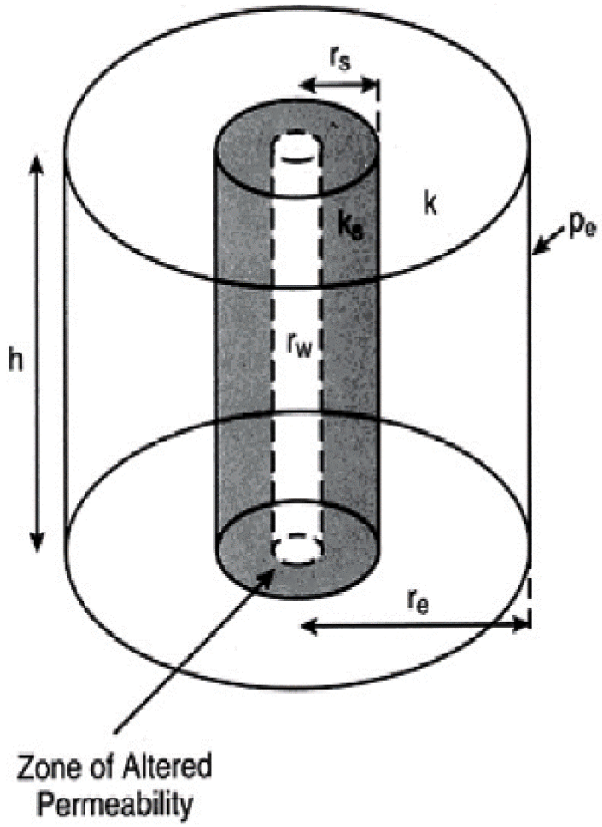
توصیف انواع آسیب‌های سازند

روش‌های تشخیص آسیب‌های سازند

روش	توصیف
آزمایشگاهی	حلالیت، آنالیز آب و مواد شیمیایی، پرتوهای اشعهX
چاه آزمایی مقایسه	خیز فشار، افت فشار، لایه آزمایی با ساق مته توان تولیدی چاه با چاه‌های مجاور
نمودارهای تولید	سیمان بندی(CBL)، اضمحلال نوترونی(TDT) نمودار تعیین درصد مشارکت لایه‌ها (PLT)
گزارش‌های حفاری و تکمیل چاه	نوع گل، هرزروی گل و میزان فشار بالای تعادل
تاریخچه تولید چاه	تاریخچه تولید شن، آسفالت و نمک
آزمایش تزریق پذیری	توانایی سازند جهت حرکت در محیط متخلخل

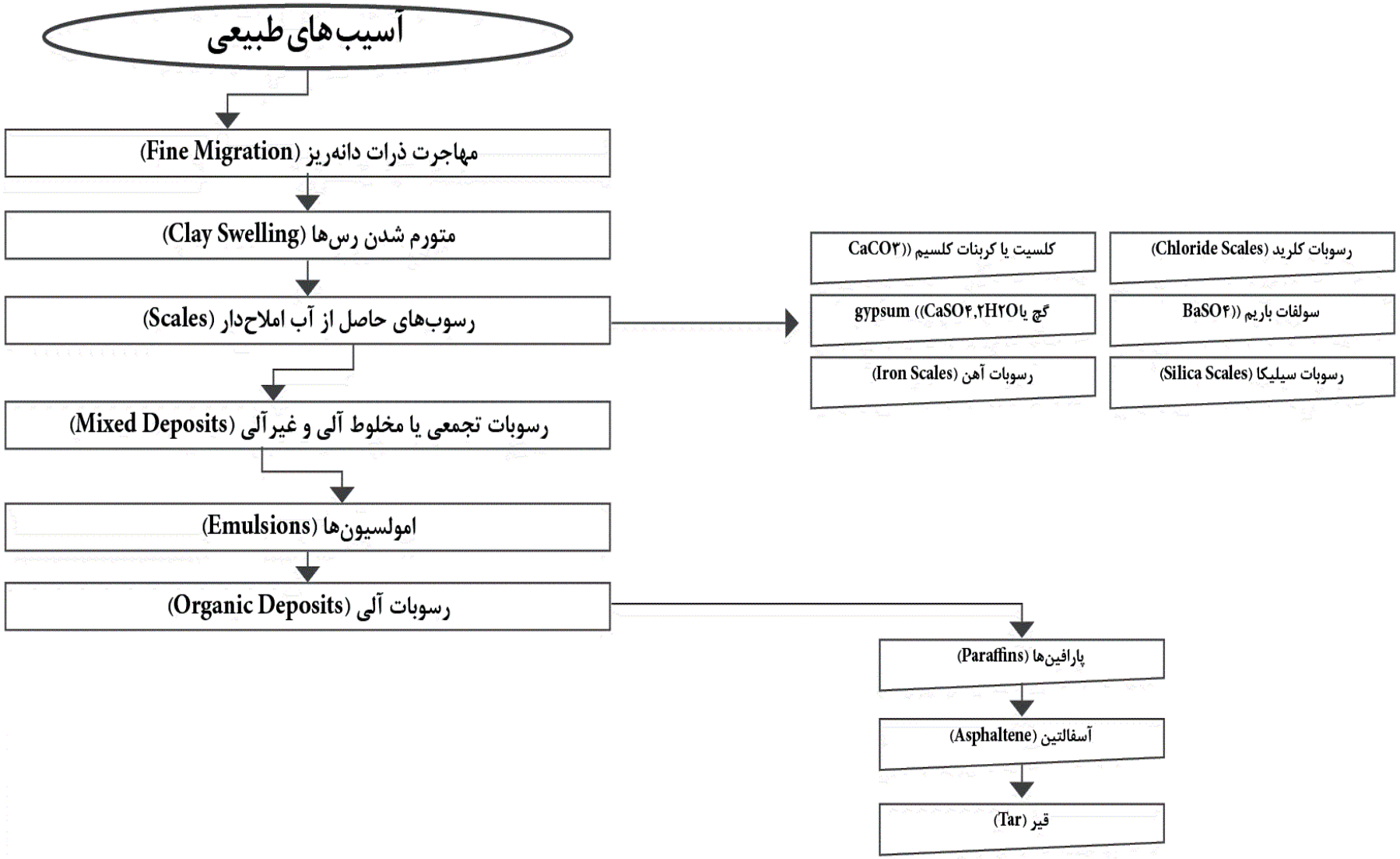
توصیف انواع آسیب‌های سازند

نوع آسیب	توصیف
صافی گل حفاری(Mud Filtrate)	در حین حفاری
جامدات پمپ شده در دهانه چاه	هنگام تزریق آب، سیمان و گل حفاری
جرم گرفتگی(Scale) شامل کربنات و سولفات کلسیم،باریم،استرانسیم،اکسید آهن و سولفید	سیمان بندی(CBL)، اضمحلال نوترونی(TDT) نمودار تعیین درصد مشارکت لایه‌ها (PLT)
صافی سیمان(Cement Filtate)	از دوغاب سیمان
مسدود شدن حفره‌ها توسط آب(Water Block)	سبب افزایش کنش سطحی و کاهش نفوذپذیری
باکتری‌های جانبی(By Product)	از سیالاتی که جهت شکاف استفاده می‌شوند تزریق آب و سیال حفاری
رسوب ترکیبات آهن	از آهن حل شده در عملیات انگیزش چاه
لجن آسفالتین	در حین اسیدکاری مخازن نفت سنگین
پلاک‌های امولسیونی(Errulsion Blocks)	بین دو فاز غیر امنزاج پذیر
سیلت و رس	در حین حفاری، تکمیل چاه و بهره‌برداری
واکنش محصولات جانبی	در حین اسیدکاری(نظیر بی فلوراید کلسیم)
ناسازگاری‌شیمیایی	از اسید و افزایه‌های آن حین انگیزش چاه
رسوبات موادآلی	پارافین و آسفالتین حین تولید
تغییرات ترشوندگی سنگ مخزن	در حین پدیده مخروطی آب یا گاز یا جذب مواد کاهش دهنده کشش سطحی
تحرک پذیری ذرات (Fine Mobilisation)	در حین دبی جریانی بالا و اسیدکاری
ریزش و سستی سازند	اسید کاری سازند(به ویژه ماسه سنگ)



انواع آسیب دیدگی سازند

به‌طور کلی آسیب‌های وارد به سازند بر اساس نوع ایجاد به دو دسته طبیعی و القایی (مصنوعی) تقسیم می‌شوند. آسیب‌های طبیعی آسیب‌هایی هستند که به‌علت تولید از مخزن ایجاد می‌شوند. آسیب‌های القایی به‌علت عملیاتی که روی چاه انجام می‌شود (مانند حفاری، تعمیر و تکمیل چاه، عملیات انگیزش چاه (Stimulaton) یا تزریق) به‌وجود می‌آیند. در شکل روبرو ناحیه آسیب‌دیده سازند نشان داده شده است.


آسیب های طبیعی
مهاجرت ذرات دانه‌ریز (Fine Migration)
متورم شدن رس‌ها (Clay Swelling)
رسوب‌های حاصل از آب املاح‌دار (Scales)
رسوبات تجمعی یا مخلوط آلی و غیرآلی (Mixed Deposits)
امولسیون‌ها (Emulsions)
رسوبات آلی (Organic Deposits)
کلسیت یا کربنات کلسیم (CaCO۳)
رسوبات کلرید (Chloride Scales)
گچ یا gypsum (CaSO۴,۲H۲O)
سولفات باریم (BaSO۴)
رسوبات آهن (Iron Scales)
رسوبات سیلیکا (Silica Scales)
پارافین‌ها (Paraffins)
آسفالتین (Asphaltene)
قیر (Tar)

مهاجرت ذرات دانه ریز

بسیاری از مخازن نفت سنگین ساختارهای کلاستیک، درصد زیادی از ذرات قابل حرکت دارند. این ذرات می‌توانند شامل رس‌ها یا بخش‌هایی از سنگ مخزن یا ذرات قابل حرکت باشند.

آسیب‌های وارد به مخزن می‌تواند به‌علت جریان سیال از مخزن به چاه، در کنار ناحیه ورود نفت از سازند به چاه اتفاق بیافتد که سبب کاهش ضریب تولید نفت می‌شود. به ذرات جداشونده از سنگ مخزن، ذرات دانه‌ریز (Fines) می‌گویند. ذرات مهاجر شامل طیف متنوعی از مواد مختلف هستند؛ از جمله:

۱) رس‌ها (با قطر کوچک‌تر از ۴ میکرومتر)

۲) سیلت‌ها (با قطر ۴۶-۴ میکرومتر)

ذرات ایجاد شده علاوه بر آسیب رساندن به مخزن با ایجاد پل‌هایی بین ذرات و مسدود کردن مسیر، به سیستم‌های مقابله با شن (Pack Gravel) نیز که برای تصفیه ذرات احتمالی در چاه نصب شده‌اند، آسیب وارد می‌کنند. این نوع مواد در اسید فلوریدریک، حل می‌شوند.

سرعت این ذرات و قدرت نفوذ آنها موجب ساییدگی در سیستم‌های مقابله با شن (Pack Gravel) خواهد شد. مقدار تأثیر رس‌ها علاوه بر سطح تماس آنها به پوشیده شدن آنها توسط ذرات کوارتز نیز بستگی دارد که می‌تواند اثر رس را کم‌رنگ کرده که این مورد در مخازن ماسه سنگی (Stone Sand) بیشتر اتفاق می‌افتد.

متورم شدن رس

جذب آب توسط مولکول‌های برخی از رس‌ها سبب افزایش حجم آنها شده و این افزایش حجم منجر به کاهش تراوایی در سنگ مخزن خواهد شد. رس‌ها در اثر تغییر بار الکتریکی، متورم شدن و جایگزینی در خلل و فرج سازند، سبب ایجاد رسوب و آسیب‌دیدگی سنگ مخزن می‌شوند.

میزان حساسیت رس به آب، مقدار رس موجود در سنگ مخزن و مکان قرارگیری رس، سه عامل اساسی در بادکنندگی رس هستند.

میزان رس و نیز قدرت پخش شدگی آن (Deflocculation) و قرار گرفتن آن در گلوگاه‌ها و حفرات بزرگ، احتمال مسدودکنندگی را افزایش می‌دهد.

خاصیت پخش‌شدگی رس هنوز به اندازه بادکنندگی آن شناخته شده نیست. علت این پدیده را ایجاد باندهای الکتروستاتیک بین مولکول‌های رس با مولکول‌های آب یا با سیالی با PH متفاوت یا آب با نمک کم حدس زده‌اند که باندهای بین مولکول‌های رس را تضعیف می‌کند.

بیشترین میزان بادکنندگی رس مربوط به‌وجود کانی اسمکتیت (Smectite) یا مخلوط‌های آن است که در صورت مجاورت با آب تا حدود شش برابر افزایش حجم خواهد داشت. نحوه برطرف کردن آن استفاده از مخلوط اسید کلریدریک و اسید فلوریدریک همراه با تعلیق کننده (Suspending Agent) است.

رسوبات حاصل از آب املاح دار

رسوبات مختلف در اثر نفوذ مواد گل ایجاد می‌شوند و روش برطرف کردن آنها متفاوت است. این رسوبات مواد شیمیایی محلول در آب هستند که به‌علت برخورد با آب ناهمگون یا ناسازگار (آب سازند با آب تزریقی یا صافاب گل) با تغییر شرایط تعادلی محلول شامل دما، فشار، گاز محلول و گرانروی جریان رسوب می‌کنند. به‌عبارت ساده‌تر در اثر کاهش درجه حرارت و کاهش فشار هنگام تولید، این رسوبات در اطراف دهانهٔ چاه ته‌نشین می‌شوند. این رسوبات می‌توانند در لوله مغزی (Tubing) یا مشبک‌ها (Perforation) یا سنگ مخزن مشکل ایجاد کنند. انواع مشکل ساز رسوب‌ها، راه‌های جلوگیری از تشکیل و زدودن آنها عبارتند از:

۱) کلسیت یا کربنات کلسیم : که با خروج گاز دی اکسیدکربن و افزایش PH محلول رسوب می‌کند. این گونه رسوبات با اسیدکلریدریک برطرف می‌شوند. ۲) گچ (gypsum): که معمول‌ترین رسوب سولفات در صنعت نفت است و با اتیلن دی‌آمین ترا استیک اسید (EDTA) برطرف می‌شوند.

۳) رسوبات آهن (Iron Scales): رسوبات آهن شامل کربنات آهن و نیز سولفید آهن به سختی از بین می‌روند. این رسوبات اغلب در چاه‌هایی که زمینه بیشتری برای حضور آهن دارند یافت می‌شوند؛ مثلا در چاه‌هایی که خوردگی آهن بیشتر ناشی از لوله‌های حفاری باشد یا در عملیات اسیدکاری به‌علت خورده شدن آهن توسط اسید، زنگ‌های آهن وارد محیط مخزن شده باشد. هفت نوع مختلف از رسوب سولفید آهن شناخته شده که تنها دو نوع آن (FeS و Fe2O3) به‌سهولت قابل حل در اسیدکلریدریک (HCl) است و بقیه یا به‌هیچ وجه قابلیت انحلال ندارند یا اندکی حل می‌شوند. این موضوع وخامت موضوع را در مورد رسوبات آهن نشان می‌دهد.

۴) رسوب‌های کلرید (Chloride Scales): رسوبات کلرید مانند کلرید سدیم از آب که شامل آب‌های تزریقی، آب خود مخزن یا سیال حفاری است می‌تواند به‌علت کاهش دما در سطح یا تبخیر جزئی آب در لوله‌ها صورت گیرد که راه‌های جلوگیری از این پدیده، طراحی مجدد سیستم‌های مکانیکی برای ممانعت از افت دما و تبخیر آب است. این گونه جرم‌ها با اسیدکلریدریک ضعیف یا آب تازه (Fresh Water) برطرف می‌شوند.

۵) سولفات باریم : که از نظر مقدار، حاوی کم‌ترین رسوب سولفاته می‌باشد اما مقدار کمی از آن دردسر فراوانی را ایجاد می‌کند.

۶) رسوب‌های سیلیکا (Silica Scales): علت به‌وجود آمدن این رسوبات اساساً تزریق بخار آب داغ یا آلکالین است.

در هنگام تزریق، سیلیکا در بخار آب داغ و آلکالین با pH بالا حل می‌شود و پس از طی مسافتی قبل از رسیدن به چاه تولیدی یا در خود چاه به‌علت کاهش دما (در مورد بخار آب) یا کاهش PH (به‌علت کاهش غلظت آلکالین) رسوب می‌کند و منجر به ایجاد رسوبات سیلیکا در سنگ مخزن می‌شود.

رسوبات آلی

رسوبات آلی شامل آسفالتین و پارافین و قیر است که تحت تأثیر کاهش فشار یا دما در لوله‌ها، مشبک‌ها یا سنگ مخزن رسوب می‌کنند. از دلایل عمده ایجاد رسوب ترکیبات آلی می‌توان به تزریق سیال سرد یا افت فشار مخزن به‌علت تولید اشاره کرد. این نوع رسوبات نباید با لجن‌ها (Sludge) اشتباه شوند. لجن‌ها امولسیون‌های غلیظ (Viscous) حاصل از واکنش بین نفت خام با برخی اسیدهای غیرآلی قوی است که به راحتی زدوده نمی‌شوند. ضروری است پارافین‌های کریستال شده و آسفالتین‌های نفت سنگین که به‌دلیل کاهش درجه حرارت ضمن تزریق اسید ایجاد می‌شود با استفاده از حلال‌های آلی کاهش یابند.

۱) پارافین‌ها (Paraffins): پارافین‌ها، دارای زنجیرهای بدون شاخه و ترکیبات مولکولی (حدود ۱۶ تا ۶۰ مولکول) هستند. افت دما و فشار و نیز انتهای سنگین شاخه‌ها به‌دلیل شاخه‌های جانبی منشعب، از دلایل رسوب پارافین‌هاست.

طراحی مجدد یا تکمیل چاه به‌طوری که دمای سیال وقتی که به سطح می‌آید، بیشتر از دمای ابر باشد و تصحیح این دما با استفاده از روش‌های بهبود شیمیایی روی سیال مخزن، مانع از رسوب آن در مخزن و تأسیسات می‌شود. مشکل پارافین بیشتر در سطح مشاهده می‌شود تا در اعماق و سنگ مخزن؛ چراکه رسوب پارافینی به شدت تابع دماست و دمای مخزن اغلب ثابت بوده و تغییر قابل توجهی ندارد.

۲) آسفالتین (Asphaltene): بسیاری از نفت‌های سنگین شامل آسفالتین غلیظ است. در صورتی که آسفالتین موجود در نفت به‌صورت محلول یا سوسپانسیون باشد مشکل جدی ایجاد نخواهد کرد. در غیر این‌صورت، با کاهش تراوایی نسبی نفت در سنگ مخزن و نیز تشکیل آسفالتین در برخی لوله‌ها در تأسیسات سطحی، موجب ضرر و زیان خواهد شد. رسوب آسفالتین منجر به کاهش شدید تراوایی مطلق نمی‌شود اما به‌علت پوشانده شدن سطح حفره‌ها با سولفات و نفت‌دوست کردن آنها و ایجاد نیروی چسبندگی بین نفت‌خام در حفره‌ها و سطح آنها، رسوب آسفالتین باعث کاهش قدرت حرکت نفت‌خام در حفره‌ها و در نتیجه کاهش تراوایی نسبی خواهد شد.

آسفالتین در اثر برخورد با اسیدها و برخی مواد شیمیایی سبب تولید لجن یا امولسیون می‌شود. بنابراین قبل از اسیدکاری یا هر عملیاتی با مواد شیمیایی باید تأثیر آن بر آسفالتین را بررسی نمود. یون‌های آهن محلول که معمولاً بر اثر اسیدکاری و خورده شدن آهن توسط اسید و وارد شدن آن به درون تأسیسات و سنگ مخزن به وجود می‌آیند عوامل مهمی در تشکیل رسوب آسفالتین به‌حساب می‌آیند. رسوب آسفالتین علاوه بر کاهش تراوایی نسبی، سبب گیر افتادن ذرات آب و مسدود شدن مسیر درون حفرات نیز می‌شود. ۳) قیر (Tar): قیر حالتی از آسفالتین سنگین است که توسط اسید یا حلال‌های قطبی حل نشده و نیازمند حلال‌های آروماتیک به همراه انرژی لازم برای شست و شو می‌باشد.

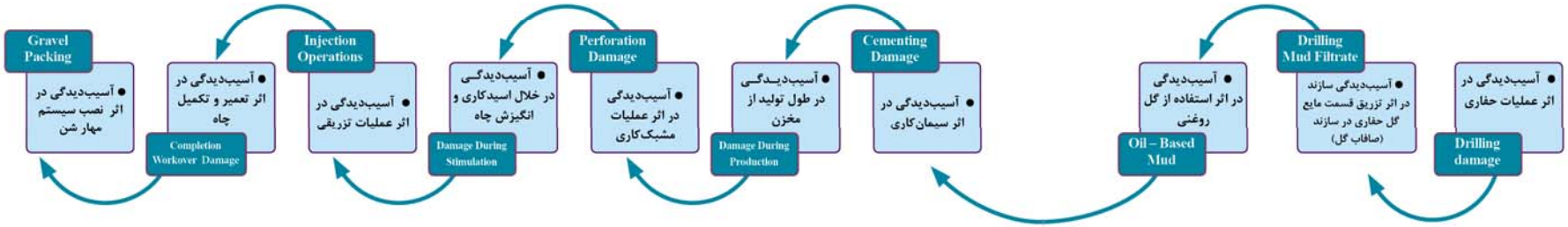
رسوبات تجمعی

رسوب‌های تجمعی یا مخلوط، آلی و غیرآلی:
در مراحل ابتدایی تولید نفت از مخزن، رسوبات آلی روی سطوح داخلی حفره‌ها را می‌پوشانند و پس از مدتی، آب نیز با املاح مربوط به خود تولید خواهد شد و رسوبات غیرآلی و معدنی را روی رسوبات آلی به جا خواهد گذاشت؛ بنابراین لایه‌های آلی و غیر آلی متوالی ایجاد خواهند شد.
رسوبات گل حفاری و مواد تزریقی نفت تر (Oil Wet) به صورت گریس‌مانند روی سنگ مخزن رسوب می‌کنند.
جهت برطرف کردن این رسوبات از روی سنگ مخزن می‌توان با استفاده از حلال‌های آروماتیکی (Aromatic Solvents) یا پراکندگی توسط اسید (Acid Dispersion) آنها را از سطح سنگ مخزن زدود.

امولسیون

امولسیون‌ها ترکیباتی از دو یا چند سیال غیرقابل امتزاج هستند که به‌صورت مولکولی در یک‌دیگر حل نمی‌شوند.
امولسیون‌ها از یک فاز خارجی که فاز پیوسته نامیده می‌شود (Continuous Phase) و یک فاز داخلی که آن را فاز ناپیوسته (Discontinuous Phase) می‌نامند، تشکیل شده‌اند. فاز داخلی همان قطراتی است که به‌صورت سوسپانسیون در فاز خارجی قرار دارد.
اغلب مدتی بعد از تولید طبیعی از مخزن، آب و نفت به طور هم‌زمان تولید می‌شوند و به‌سبب تولید آب این امر منجر به شکل‌گیری امولسیون می‌شود، لذا این پدیده را جزو آسیب‌های طبیعی دسته بندی می‌کنند.
راه تضعیف حالت پایدار امولسیون استفاده از امولسیون‌شکن یا ضد امولسیون‌هاست که شامل مواد کاهش دهندهٔ کشش سطحی (Surfactant) هستند که می‌توانند به طور طبیعی در نفت یا آب وجود داشته باشند یا محصول جانبی تجزیه توسط باکتری‌ها یا حتی ایجاد شده در طول فرآیند تولید نفت باشند که این مواد باید به مقدار کافی مورد استفاده قرار گیرند. مواد کاهش دهندهٔ کشش سطحی با سست کردن نیروی بین قطرات معلق و سیال پیوسته، امولسیون‌ها را از حالت پایدار خارج می‌کنند.
در مقابل، ذرات ریز جامد موجود در سیال، پیوسته منجر به افزایش تفاوت گرانروی در سیال شده و در نتیجه پایداری را افزایش می‌دهند. چند نمونه از این ذرات ریز جامد عبارتند از یون‌های سولفید آهن، پارافین، ماسه، سیلت، رس، آسفالتین، رسوبات معدنی، روغن‌های محل اتصال لوله‌ها و محصولات ناشی از خوردگی.

آسیب های القایی



یک- آسیب‌دیدگی در اثر عملیات حفاری (Drilling damage)

- نفوذ جامدات گل حفاری به درون سازند (Drilling Mud Solids)
- پر شدن تخلخل‌ها توسط جامدات گل (Porosity Filling by Mud Solids)
- تزریق مایعات و صافاب گل (Injection Of Mud Filtrate) (Drilling Mud Solids)
- ضعیف بودن اندود گل (Poor Mud Cake)
- سنگین بودن وزن گل (Over Balance)

دو-آسیب‌دیدگی سازند در اثر تزریق قسمت مایع گل حفاری در سازند (Drilling Mud Filtrate)

- تغییرات Salinity، Scale و PH در سازند
- نفوذ زیاد در اثر افزایش فشار موییینگی
- پراکندگی ذرات جامد همراه با مایعات تزریقی
- باقی ماندن مواد شیمیایی همراه در سازند
- سرد کردن سازند

سه- آسیب‌دیدگی در اثر استفاده از گل روغنی (Oil - Based Mud)

- نفوذ جامدات فراوان در سازند
- ایجاد امولسیون در سازند
- تغییر تراوایی نسبی به‌واسطه نفوذ نفت موجود در گل روغنی
- تغییرات شوری

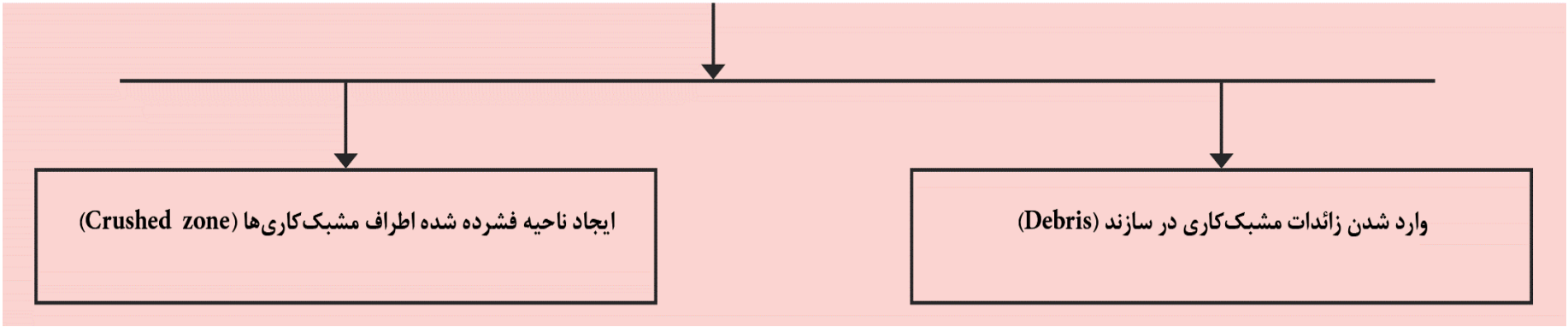
چهارم - آسیب‌دیدگی در اثر سیمان‌کاری (Cementing Damage)

- افزودنی‌های سیمان و جداکننده‌ها (Spacers) که باعث از بین رفتن کیک گل می‌شوند.
- نفوذ آب سیمان (Cement Filtrate) به داخل سازند و عدم تناسب آن با سیال سازند
- ایجاد پراکندگی (Dispersion) در اثر این عوامل
- دوغاب سیمان که سبب افزایش PH و ایجاد رسوب کربنات کلسیم ($CaCO_3$) در سنگ مخزن می‌شود.
- آب اضافه سیمان که باعث مسدود شدن خلل و فرج (Water Block) می‌گردد.
- در موارد خاصی که سیمان به داخل سازند تزریق می‌شود. (Cement Squeeze)

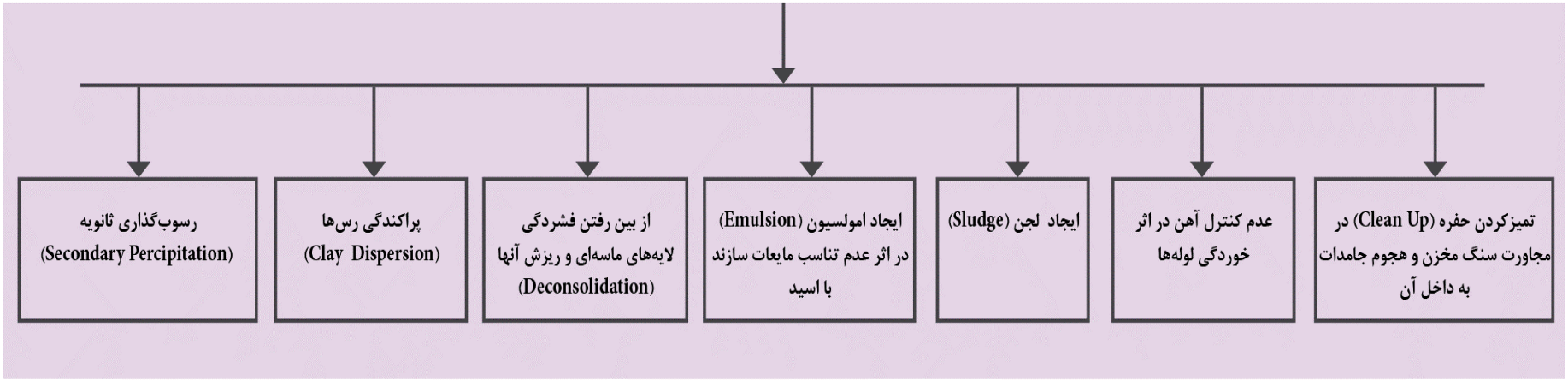
پنجم- آسیب‌دیدگی در طول تولید از مخزن (Damage During Production)

- مسدود شدن خلل و فرج سنگ در اثر افت فشار زیاد
- رسوب پارافین‌ها و Scale در اثر افت فشار زیاد
- تغییرات ترشوندگی در اثر جریان سیال در سازند
- ایجاد امولسیون و مسدود شدن حفره‌ها توسط آب
- تمیزکاری چاه در دبی جریانی بالا (به‌علت حرکت ماسه و رس سازند و انسداد خلل و فرج)

شش- آسیب‌دیدگی در اثر عملیات مشبک‌کاری (Perforation Damage)



هفتم- آسیب‌دیدگی در خلال اسیدکاری و انگیزش چاه (Damage During Stimulation)



هشتم- آسیب‌دیدگی در اثر عملیات تزریقی (Injection Operations)

- تزریق آب در سازند، نفوذ جامدات همراه با آب و رس و Scaleبه داخل سنگ مخزن
- تزریق بخار در سازند (Steam Flood) و نفوذ جامدات همراه (Zeolites، Scale و Silica) به داخل آن
- تزریق دی اکسیدکربن (Flood CO۲) و ایجاد لجن (Sludge) و رسوب کربنات‌ها در سنگ مخزن
- تزریق پلیمر (Polymer Flood) و ایجاد زائدات ژلی (Residue)، مسدود کردن تخلخل‌های کوچک

نهم- آسیب‌دیدگی در اثر تعمیر و تکمیل چاه (Completion / Workover Damage)

- نفوذ جامدات همراه سیال و زائدات پلیمری در سازند
- کنترل هرزروی و تغییر حساسیت سازند (Wettability و Clays، Scales)
- آسیب‌دیدگی مخزن به‌واسطه تزریق و عدم تراکم مناسب فیلتر شنی (خالی ماندن روزنه‌ها یا فضای بین لوله مغزی و جداری توسط شن)
- آسیب فیلتر به‌واسطه تزریق رس و ماسهٔ سازند، باقی‌ماندن پلیمر بین فیلتر و ماسه‌های سازند

دهم- آسیب‌دیدگی در اثر نصب سیستم مهار شن (Gravel Packing)