

به نام خدا

ارائه طرح آزمایشگاهی و ساخت دستگاه جهت بررسی
آسیب وارده بر سازند ناشی از استفاده انواع گل حفاری

Laboratory Design of an Apparatus for Evaluation of Formation Damage Caused by Various Drilling Muds

(پروژه مقطع کارشناسی)

(مهندسی نفت دانشگاه شیراز)

توسط:

حسین عامری Hossein Ameri

شماره دانشجویی:

903783

استاد راهنما:

دکتر مسعود ریاضی Dr. Masoud Riazi



بهار و تابستان 1394/2015

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

:Terms of Reference

این پروژه که در حقیقت پروژه مقطع کارشناسی است، در رابطه با آسیب هایی است که در هنگام استفاده از گل حفاری به سازند وارد می شود. یعنی هدف از این پروژه ارائه طرحی آزمایشگاهی و یا حتی صنعتی، برای تخمین این میزان آسیب و یا انجام تست برای رفع این بحران است. پس با توجه به نکات ذکر شده این گزارش می تواند برای دانشجویان علاقه مند به رشته مهندسی نفت بخصوص گرایشهای بهره برداری و حفاری مفید واقع شود. همچنین در صورت اجرایی شدن فاز بعدی پروژه یعنی ساخت عملی دستگاه، این اطلاعات برای استفاده های گسترده مهندسان نفت چه در دانشگاه و چه صنعت می تواند قابل توجه باشد.

چکیده:

همواره یکی از نکاتی که ذهن مهندسان حفاری را به خود مشغول می کند، استفاده از بهترین نوع سیال حفاری بوده است. حال نکته اینجاست که این بهترین سیال یا گل حفاری چگونه تعیین می شود. همواره با توجه به ویژگی های سازند در حال حفاری این خواص تعیین می شود. همیشه بر روی سیالات حفاری آزمایش هایی انجام می گیرد که مهندسان به شرایط مطلوب عملیاتی گل برسند. یکی از این ویژگی ها که به سختی می تواند تخمین زده شود این است که این گل مورد استفاده چقدر به سازند آسیب وارد می کند و چه مقدار از تولید هیدروکربن نهایی می کاهد.

حال در این تحقیق تلاش شده که در ابتدا انواع گل را و شرایط آنها با انواع افزودنی هایشان و تقابل آنها با سازند، معرفی شود؛ و سپس طرحی ارائه شود که بتواند بر روی نمونه آزمایشگاهی از سنگ مخزن این میزان آسیب را مشخص نموده و حتی بتوان در شاخه بهره برداری بهترین گزینه تزریقی را برای رفع این آسیب یافت. نکته مهم این است که این طرح پس از بررسی های ریزبینانه تر و با جزئیات بیشتر می تواند به مرحله اجرا در بیاید.

علاوه بر این نکات، فصل پایانی به عنوان پیوست برای شرح شرایط مدل سازی حرکت سیال حفاری درون محیط متخلخل سنگ مخزن و تقابل آن با سیالات درون سنگ و طریقه ایجاد آسیب از این روش و پدیده Fine Migration، برای علاقه مندان شرح داده شده است.

Abstract

Drilling fluid selection seems to be a usual and ordinary section of a drilling job. However, this part of an operation is very critical and precise. The selected drilling mud must have several features to optimize a drilling operation such as:

- Transferring appropriate hydraulic pressure to the wellbore (controlling formation pressure);
- Minimizing formation damage;
- Cool, lubricate, and support the bit and drilling assembly;
- Remove cuttings from well and suspend and release cuttings;
- Facilitate cementing and completion;
- Minimize impact on the environment, etc.

All of these properties are obtained by formation features. Thus, different experimental tests are conducted on drilling fluids to reach the mud adequate traits. One of the properties which are hard to estimate is how much the drilling fluid cause formation damage?

Therefore, in this research, an apparatus has been designed to evaluate formation damage. This instrument has two parallel cylinders that had been filled with the sand pack by particular porosity and permeability. The interior cylinder is a model of a well and the external one is a model of the reservoir. The drilling mud is pumped to the modeled well and permeability changing is calculated. Hence, formation damage can be evaluated by this plan. Also, this apparatus can be used for injection process modeling in production and EOR operations for different fluids.

Moreover, various drilling fluids, their additives and their effects on the formation damage are introduced in this project.

Furthermore, in the last chapter (Appendix), for better investigation of modeling of drilling fluid flow in the reservoir porous media and its interaction with reservoir rock/fluids have been described. In addition, drilling mud effects on the fine migration phenomenon are presented in this section.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
2	فصل اول: مقدمه
2	1.1. تاریخچه گل حفاری
5	2.1. آثار و ویژگی های گل حفاری
6	3.1. بررسی اجمالی از آسیب سازند در استفاده از گل حفاری
9	فصل دوم: مروری مختصر بر انواع افزودنی های گل با محوریت اثر بر آسیب سازندی
9	1.2. زیرشاخه های انواع گل
10	2.2. افزودنی ها و آثار آنها بر میزان آسیب
11	1.2.2. مواد وزن افزا
11	2.2.2. افزودنی های گرانروی
12	3.2.2. افزودنی های کنترل کننده فیلترات گل
12	4.2.2. افزودنی های ضد فوم
12	5.2.2. افزودنی های انعقاد کننده
13	6.2.2. افزودنی های ایجاد فوم
13	7.2.2. افزودنی های کنترل کننده هرزروی گل حفاری
13	8.2.2. سایر افزودنی های گل
16	فصل سوم: مروری بر آزمایش ها و کارهای گذشته
16	1.3. مطالعات کلی بر روی گل در شرایط عملیاتی و آزمایشگاهی
17	2.3. مطالعات انجام شده در زمینه تقابل گل و سازند
18	3.3. مطالعات آزمایشگاهی درسنجش آسیب
18	4.3. مطالعات انجام شده در رابطه با مدل سازی و آسیب سازندی

19	1.4.3. مطالعات جامع در مورد Fine Migration
19	2.4.3. راه حل های جلوگیری از Fine Migration
22	فصل چهارم: ارائه طرح آزمایشگاهی
22	1.4. اصول کلی طرح
23	2.4. ساختار کلی دستگاه
25	3.4. تشکیل شرایط خواص سنگ و سیالی مخزن، در نمونه
26	4.4. حل بحران آسیب سازندی
26	5.4. خلاصه روند کار دستگاه
29	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها
29	1.5. نتیجه گیری و فواید
30	2.5. پیشنهادها
32	فصل ششم (پیوست): مروری بر مدل سازی
32	1.6. تعریف کلی از Fine Migration
33	2.6. عوامل مهم مؤثر در Fine Migration
33	1.2.6. درجه شوری سیال تزریقی
34	2.2.6. pH سیال تزریقی
36	3.2.6. اثر دبی و اختلاف فشار
36	4.2.6. اثر و رابطه پتانسیل زتا
38	منابع

فصل اول

مقدمه

یکی از گرایش های اساسی مهندسی نفت، مهندسی حفاری است. کار این گرایش مهندسی نفت همان گونه که از نام آن بر می آید، بر روی حفر چاه ها اعم از اکتشافی، توسعه ای، مشاهده ای و ... میپردازد. یکی از موادی که مهندسان حفار همواره با آن سر و کار دارند، سیال حفاری یا همان Drilling Fluid می باشد. این سیال که به نام گل حفاری (Drilling Mud) نیز شناخته می شود، علاوه بر محاسن زیادش، معایبی هم دارد، بخصوص اگر به درستی این گل انتخاب نشود. به طور کلی و مفصل در فصل دوم در مورد انواع گل و افزودنی های آن و آثار هر نوع گل بر سازند و آسیبهای آنها بحث خواهیم کرد.

حال صرفاً نگاهی اجمالی بر گل حفاری خواهیم انداخت. همچنین سعی می شود به پاسخ این پرسش که _ چرا بررسی آسیب های گل حفاری بر سازند از اهمیت ویژه ای برخوردار است؟ _ پرداخته شود.

1.1. تاریخچه گل حفاری

گل حفاری تاریخچه طولانی و گوناگونی از گذشته دور دارد. ولی بطور اجمالی در آغاز، چینی ها فهمیدند که گل دارای دو کاربرد مهم دارد. نخست اینکه آنچه در سازند وجود دارد را نرم می کند و دوم اینکه گل حفاری به بالا آوردن کنده ها از ته چاه کمک شایانی می کند. در سیستم هایی که تا سال 1846 و حتی بعد از آن برای استخراج نفت از آبهای جاری استفاده می شد، هنوز کسی از خواص گل حفاری اطلاعی نداشت. در سال 1890 مردی بنام چاپمن اشاره ای به این موضوع نمود که جریانی از آب و مقداری از مواد پلاستیکی می تواند شکلی خاص به دیواره چاه داده و آن را مستحکم تر کند و این آغاز مهندسی مدرن در تاریخ گل حفاری بود. چاپمن بعدها به یکی دیگر از کاربردهای گل حفاری دست یافت و آن عبارت بود از اینکه می توان بوسیله گل حفاری از هرزروی آب بدون لایه های سازند جلوگیری

نمود. و نیز با استفاده از مواد خاصی دیواره چاه را اندود کرد. چاپمن همچنین این موضوع را که خاک رس، پوست گندم، حبوبات، سیمان و مواد مشابه را می توان بکار گرفت آشکار ساخت. [1]

می توانیم چنین فرض کنیم که گل های حفاری ساخته شده توسط جامدات چاه، یا خیلی سنگین بودند و یا گرانیروی زیادی داشت و تنها آب برای رقیق کردن آن استفاده می شد. اگر گرانیروی گل کاهش می یافت یا از درون مخازن ذخیره به سیستم گل جدید افزوده می شد و یا حفاری با همان گل رقیق ادامه می یافت و اگر وزن گل اندک بود چاه فوران میکرد و اگر هرزروی گل زیاد می شد یا اندود گل تشکیل شده باعث گیر کردن لوله های حفاری می شد و یا ریزش دیواره چاه باعث گیر کردن لوله ها می گشت، هیچ نوع مواد افزودنی مؤثری برای کنترل خواص فیزیکی گل وجود نداشت.

می توانیم چنین فرض کنیم که گل های حفاری ساخته شده توسط جامدات چاه، یا خیلی سنگین بودند و یا گرانیروی زیادی داشت و تنها آب برای رقیق کردن آن استفاده می گرفت. اگر گرانیروی گل کاهش می یافت یا از درون مخازن ذخیره به سیستم گل جدید افزوده می شد و یا حفاری با همان گل رقیق ادامه می یافت و اگر وزن گل اندک بود چاه فوران میکرد و اگر هرزروی گل زیاد می شد یا اندود گل تشکیل شده باعث گیر کردن لوله های حفاری می شد و یا ریزش دیواره چاه باعث گیر کردن لوله ها می گشت، هیچ نوع مواد افزودنی مؤثری برای کنترل خواص فیزیکی گل وجود نداشت.

13 سال بعد از ظهور نخستین گل حفاری لوکاس در سال 1901 در اسپیندل تاپ برای مباحثه در مورد سیالات حفاری و مطرح کردن آن بعنوان یک ضرورت در صنعت حفاری حضور پیدا کرد. این مسئله در سال 1914 از تحقیقات وسیعی توسط پولارد و هگبورک کشف گردید که از گل فوق العاده غلیظی برای حفاری توسط دکل های ضربه ای در ایالت اوکلاهما استفاده می شده است.

مشکل پولارد و هگبورک، توسعه روشی برای بهبود کیفیت حفاری با روش ضربه ای، به منظور جلوگیری از ضایعات اضافی گاز که بهنگام حفاری گازی با روش ضربه ای صورت می گرفته، بود. در این روش تنها مقدار کمی سیال بدرون چاه فرستاده می شد. آنها توصیه می کردند که برای جلوگیری از فوران چاه به منظور کنترل فشار هیدرو استاتیکی از گل خاک رس غلیظ استفاده کنند. ترکیب و خواص سیالات خاک رسی، توسط آنها عرضه شد و احتمالاً در آن زمان در روش حفاری دورانی نتایج مطلوبی را بدست داده است. گل مطلوب به گلی گفته می شود که به اندازه کافی غلیظ باشد تا بتواند منافذ طبقات و ماسه ها را طوری مسدود نماید که سیال نتواند بدرون آنها نفوذ نماید. گل مطلوب گلی است که توانایی انسداد منافذ ماسه و جلوگیری از ریزش دیواره چاه و کنترل فشارهای گاز را داشته باشد.

تاریخ جدید سیالات حفاری یعنی زمانی که تلاش برای کنترل خواص گل با استفاده از مواد افزودنی طراحی شد در سال 1921 آغاز گردید. استراود در سال 1921 در تلاش بود که وسیله ای بیابد که گل را آنقدر سنگین نماید که با کنترل فشار گاز از فوران جلوگیری نماید. چندین فوران شدید و آتش سوزیهای مهلک به هنگام حفاری با گل سبک و گاز خورده اتفاق افتاده بود. استراود متوجه شد که نمونه های برگشتی گل در مخازن، در مناطق گازی، وزنی معادل 10/5 تا 11 پوند در گالن داشته و

بسیار چسبناک هستند. بطوریکه بحدی می رسیدند که قابل تلمبه شدن نبودند. این نوع گل در اثر این اتفاقات فوران می کرد.

در آزمایشگاه کشف شد که ذرات ریز اکسید آهن علاوه بر سنگین کردن وزن گل (15 تا 18 پوند در گالن) براحتی قابل تلمبه شدن است. این مواد برای استفاده در صنعت توصیه شده و مقدار زیادی از آن در مناطق گازی آلکاتراس جنوبی و لویزیانای شمالی بکار گرفته شد و نتایج خوبی هم داشت. استفاده از اکسید آهن به چند دلیل مورد اعتراض کارگران حفاری قرار گرفت که در بین این دلایل رنگ تیره و ایجاد لک به روی پوست توسط این ماده جالب توجه بود. [2]

در سال 1922 باریت تحت آزمایش قرار گرفت و مطلوب تر از اکسید آهن برای سنگین تر کردن گل تشخیص داده شد. استراود در ضمن، این واقعیت را که وزن مخصوص زیاد اکسید آهن و سولفات باریت باعث ته نشین شدن و ایجاد اشکالاتی در کنترل می شود، را بیان نمود.

بطور کلی می توان تاریخچه گل حفاری را در شش مرحله خلاصه کرد:

- مرحله اول (از سال 1914 تا 1920): تعاریف مختلف برای گل حفاری از افراد مختلف ارائه می شد و به آن صورت استفاده از گل حفاری عمومیت پیدا نکرده بود.
- مرحله دوم (از سال 1920 تا 1930): در این سالها شرکت های گل حفاری شروع به کار کردند و هر کدام موادی را برای استفاده در گل حفاری وارد بازار نمودند.
- مرحله سوم (از سال 1930 تا 1940): در این سالها شرکت ها توانستند ابزاری را جهت انجام آزمایشات مختلف بر روی گل حفاری ارائه نمایند.
- مرحله چهارم (از سال 1940 تا 1955): توسعه ویژگیها و ابزارهای سیستم گل حفاری مانند مخازن مدرن، آخورک گل، تفنگهای گل و ... پیشرفتهایی بود که در طی این سالها صورت گرفت.
- مرحله پنجم (از سال 1955 تا 1970): پیدایش مهندسی گل بدین معنی که کلاسهای درسی برای افراد تحصیل کرده ابلاغ شد و فرمولها یکی بعد از دیگری درباره گل عرضه شد.
- مرحله ششم (از سال 1970 به بعد): که امروزه مشاهده می کنیم که در سیستم گل و خواص گل چه تغییرات و پیشرفتهایی بوجود آمده است. [2]

مهندس حفاری همواره نگران انتخاب و نگهداری سیال حفاری مورد استفاده برای حفاری است. سیالات حفاری ارتباط مستقیم با مشکلات حفاری دارند. اگر سیالات حفاری دارای خواص مورد نظر نباشند، نباید آنها را مورد استفاده قرار داد. کارکرد سیستم گل حفاری در موفقیت عملیات حفاری سهم بسزائی دارد چرا که می توان آن را بعنوان مثالی مشابه دستگاه گردش خون در بدن انسان دانست که

وظایف محوله به این سیستم در حفاری به همان مهمی وظایف سیستم گردش خون و خود خون در تداوم حیات انسان است.

2.1. آثار و ویژگی های گل حفاری

در حقیقت انواع گل با توجه به شرایط مخزن و سازند مورد استفاده قرار می گیرند. در صورت انتخاب درست ویژگی های مورد نیاز و مطلوب یک گل حفاری نظیر موارد زیر بدست می آید:

- تمیز کردن ته چاه و انتقال کنده های حفاری به سطح زمین
 - خنک کردن مته و لوله های حفاری
 - روان کردن مته و لوله های حفاری
 - اندود کردن دیواره چاه و جلوگیری از ریزش چاه
 - کنترل فشارهای زیر زمینی
 - معلق نگه داشتن کنده ها و مواد وزن افزا به هنگام قطع جریان گل حفاری
 - ترخیص شن و کنده های حفاری بر روی الکهای لرزان و سایر تجهیزات جدا کننده
 - تحمل قسمتی از وزن لوله های حفاری و لوله های جداری
 - به حداقل رسانیدن ضایعات و آسیب ها به سازنده های مجاور چاه
 - انتقال توان هیدرولیکی پمپ های گل به مته و حرکت در آوردن تیغه های متحرک مته
- حال در صورتی که گل به درستی انتخاب نشود و یا حتی در صورت انتخاب درست در شرایط عدم مهارت کافی در استفاده از آن، گل آسیب هایی را نظیر موارد زیر بوجود می آورد:

- عدم ایجاد کیک گل مناسب بر روی دیواره و در نهایت ایجاد Kick و یا Blow Out
- ایجاد کیک یا اندود گل ضخیم و گیر کردن یا Sticking لوله یا مته حفاری درون چاه
- در صورت استفاده از گل با پایه هوا، بستن حفره ها و یا به اصطلاح سوزاندن سازند
- نفوذ فیلترات گل به درون سازند و مسدود کردن محیط متخلخل یا کاهش فضای موجود برای حرکت سیال هیدروکربنی درون مخزن و سپس چاه
- در صورت وزن زیاد گل ایجاد خطر شکستن سازند درون مخازن با فشار کم [3]

نکته قابل توجه آن است که محاسن (دسته اول) و معایب (دسته دوم) گل حفاری با توجه به نوع سازند و خود گل بسیار بسیار گسترده تر از موارد بیان شده است که در حوصله این گزارش نمی گنجد. چرا که

برای مثال هر نوع گل در تماس با هرنوع سنگ مخزن و سیالات موجود در آن یک شیوه منحصر بفرد عمل کرده و متعاقباً انواع آسیب های وارد شده بسیار زیاد و متفاوت می گردد.

3.1. بررسی اجمالی بر آسیب سازند در استفاده از گل حفاری

آنچه که به طور مختصر می توان بیان کرد این است که هر نوع گل حتی در شرایط انتخاب صحیح، حتی مقدار مختصری هم شده، به سازند آسیب وارد می کند. به گونه ای که با توجه به نوع حفاری و نوع گل و همچنین نوع سازند، شدت این نوع آسیب گوناگون خواهد بود.

همان گونه که در فصل دوم بحث خواهد شد، سیالات حفاری به سه دسته عمده تقسیم می شوند:

(1) سیالات پایه آبی (Water Base mud)

(2) سیالات پایه نفتی یا پایه روغنی (Oil Base Mud)

(3) سیالات گازی یا هوایی (Pneumatic Fluids)

حال با توجه به شرایط هر کدام از این سیالات درون حفاری مخزن و چاه استفاده می گردد، لذا تقابل این سیالات با سنگ و سیال مخزن هر کدام نوعی آسیب را بوجود می آورد. به طور مختصر می توان گفت به علت تطابق شدید بین گل های پایه نفتی و هیدروکربن درون مخزن، کمتر آسیب را در حفاری با این نوع گلها شاهد خواهیم بود. چرا که فیلترات گل (همان سیالی که با رسوب ذرات جامدش بر روی دیواره چاه وارد محیط متخلخل مخزن می گردد) از جنس هیدروکربن بوده و لذا شدید با مواد درون مخزن تقابل نداشته و رسوب زیاد و تغییرات زیاد ترشوندگی و تراوایی و... را ندارد. حال بر خلاف این نوع گل، گل های پایه آبی علاوه بر هزینه اندک استفاده از آنها و تطابق بیشتر آنها با نکات محیط زیستی، آسیب های بسیار زیادی را به سنگ مخزن وارد می کنند. به علت چسبندگی زیاد ذرات گل پایه آبی به گونه ای که حجم زیاد اندود گل بر دیواره چاه را در پیش خواهد داشت و سپس میزان زیادی هرزروی گل و فیلترات را داریم، که تا شعاع مشخصی از مخزن این فیلترات پایه آبی وارد شده و شرایط اولیه مخزن را در نزدیکی چاه به کلی تغییر داده و به اصطلاح Formation Damage یا آسیب سازند بوجود می آید. پوسته یا همان Skin ایجاد شده در اطراف چاه به گونه ای است که با نفوذ سیال حفاری مقداری از محیط متخلخل مؤثر حاوی هیدروکربن را اشغال کرده و نه تنها از حجم هیدروکربن نزدیک چاه می کاهد همچنین تراوایی مؤثر برای عبور سیال اصلی مخزن کم می شود و لذا شرایط تولید بسیار سخت می شود. علاوه بر این، mud cake ایجاد شده بر روی دیواره از سهولت حرکت سیال مخزن می کاهد و گاهی سبب گیر کردن لوله ها و یا مته نیز می شوند. سیالات تراویده گل می توانند در محیط متخلخل شرایط تعادلی را از بین برده و علاوه بر اینکه خود ذراتشان را رسوب می دهند سبب رسوب آسفالتین معلق درون نفت و یا ایجاد واکس گردند؛ در نهایت هم شرایط ترشوندگی نزدیک چاه را تغییر دهند و یا گاهی معکوس کنند. سیالت هوایی هم گاهی طی فرآیندی به اصطلاح سنگ مخزن را میسوزانند که با این اتفاق تمامی حفره های مجاور مته در حال حفاری، مسدود می شوند. [4]

توجه شود که اکثر این آسیب ها در حفاری در شرایط فراتعادلی (Over Balance Drilling) اتفاق می افتد، چرا که فشار ستون چاه از فشار مخزن بیشتر بوده و سیال را به درون مخزن هل می دهد. در شرایط فروتعادلی (Under Balance Drilling) زمانی که فشار مخزن بیش از فشار ستون گل درون چاه است، معمولاً تنها نوع آسیب از نوع همان آسیب با حفاری گل های هوایی است و در مابقی شرایط عموماً آسیبی به مخزن وارد نمی شود و صرفاً خطر نفوذ گاز و یا فوران در چاه حس می شود. [5]

پس از ایجاد این نوع آسیب ها نیاز است که به فکر چاره بود تا این شرایط را تغییر داد. از عمومی ترین روش ها استفاده از اسیدها است و به گونه ای که یا چاه را اسیدکاری کرد و یا شکست همراه با اسید را در سنگ مخزن بوجود آورد. یا اینکه به روش شکست هیدرولیکی مخزن پرداخت تا شاید بتوان آسیب را از بین برد یا آن را کاهش داد. استفاده از تفنگهای مشبک کاری پر قدرت و پر هزینه برای عبور از ناحیه آسیب دیده روش دیگری است.

حال نکته اینجاست که چگونه می توان به این موضوع پی برد که بهترین انتخاب برای سیال حفاری در تماس با نوعی مخزن خاص چیست و یا در صورت ایجاد آسیب با یک نوع گل حفاری مشخص و با شرایط سازندی معین، بهترین گزینه تزریقی برای رفع آن چیست؟ هدف اصلی این است که چگونه میتوان با بهترین گزینش کمترین هزینه را به عملیات حفاری و تحریک چاه پس از آن اعمال نمود؟

پاسخ به این پرسش اصول طراحی دستگاه و علت ارائه این طرح را بیان می کند. اصل و خط مشیی که ابتدا تا انتهای فاز اول و دوم پروژه و تحقیق را پی ریزی می کند.

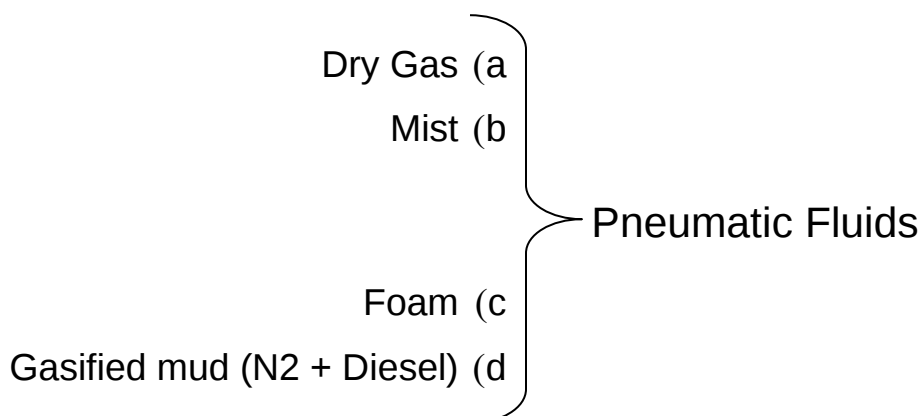
فصل دوم

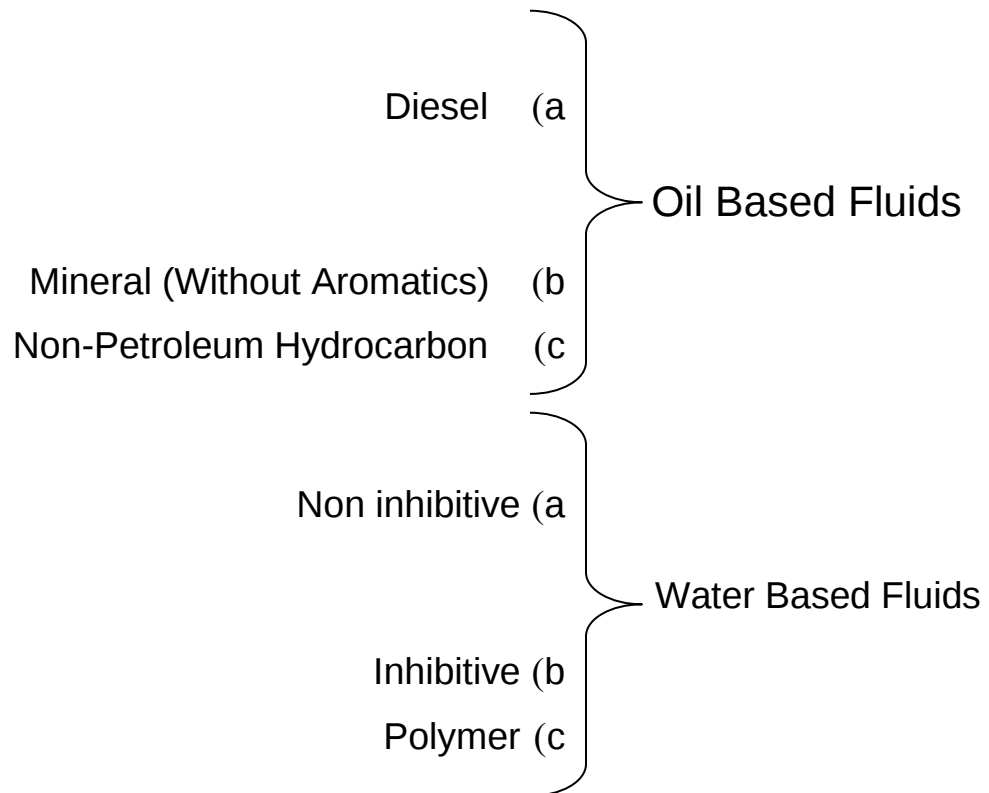
مروری مختصر بر انواع افزودنی های گل با محوریت اثر بر آسیب سازندی

همان گونه که در فصل اول ذکر شد، مهندسان برای رسیدن به خواص مشخصی درون گل کشف کردند که، با اضافه کردن مواد گوناگون به سیال حفاری می توانند به خواص دلخواه خود دست یابند. در این فصل سعی می شود به صورت بسیار مختصر به انواع افزودنی های گل و خواص ایجاد کننده آنها با محوریت آثار آسیب سازندی مورد بحث قرار گیرند. هر چند در مورد نام انواع افزودنی بحث می شود ولی برای جلوگیری از گسترده شدن موضوع، صرفاً در مورد افزودنی هایی که به نحوی بر روی خواص آسیبی گل مؤثرند توضیحات مفصل تری داده خواهد شد.

1.2. زیر شاخه های انواع گل

پیش از توضیح در رابطه با افزودنی ها، لازم است که زیرمجموعه های سه دسته گل معرفی شده در فصل اول را بیان کنیم: [6]





همان گونه که از اسامی مشخص است دسته دوم از سیالات پایه آبی، یعنی همان سیالت بازدارنده، دسته ای هستند که همین افزودنی های مد نظر ما معمولاً به این نوع گلها اضافه می شوند. برای آنکه گراندروی ویا دانسیته گل و یا هر خصوصیت دیگر گل به شرایط مورد نیاز ما برسد افزودنی هایی به آن افزوده می شود، لذا هر کدام از این تغییرات می تواند بر روی میزان آسیب سازندی مؤثر باشند.

انواع افزودنی های گل و تأثیر هر کدام در زیر به طور مختصر آمده است.

2.2. افزودنی ها و آثار آنها بر میزان آسیب

توجه نمایید که نکات بیان شده در مقاله برای همه موارد الزاماً صدق نکرده و ممکن است استثناء هایی هم وجود داشته باشد.

در ابتدا افزودنی های مؤثر در میزان آسیب سازندی را بیان می کنیم: [7,8]

1.2.2. مواد وزن افزا

این مواد برای افزایش وزن یا همان دانسیته سیال پایه استفاده می شوند. واضح است که با افزایش دانسیته گل میزان آسیب گل بر سازند زیادتیر شده، چرا که وزن ستون گل بیشتر شده و لذا فیلترت ورودی به سازند هم بیشتر می شود. پس استفاده از هر کدام از این افزودنی ها میزان آسیب را افزایش می دهد.

- باریت (BaSO_4) : خاک رس با $\text{SG}=4.2$
- هماتیت (Fe_2O_3) : خاک رس با $\text{SG}=5.5$
- کلسیت (CaCO_3) : خاک رس با $\text{SG}=2.7$
- گالنا (PbS) : خاک رس با $\text{SG}=7.5$
- سیدریت (FeCO_3) : خاک رس با $\text{SG}=3.8$
- ایلمینیت (FeOTiO_2) : خاک رس با $\text{SG}=4.9-5.3$

بنابر آنچه اعلام شد، برای مثال استفاده از گالنا نسبت به کلسیت درون یک گل مشخص در تماس با یک سازند معین، آسیب بیشتری را به سازند وارد می کند.

2.2.2. افزودنی های گرانروی

این افزودنی ها که در حقیقت برای افزایش گرانروی استفاده می شوند، برای اهداف اصلی نظیر جلوگیری از هدرروی ذرات گل و همچنین افزایش تمیزکاری چاه استفاده می شوند. اما نکته اینجاست که با افزوده شدن ویسکوزیته، میزان فشار پمپ برای حرکت سیال زیادتیر شده، و در نهایت فشار ستون گل را زیادتیر کرده و به تبع میزان آسیب را زیادتیر می نماید. اما باید توجه کرد که با افزایش گرانروی میزان نفوذ و تمال برای ایجاد فیلترتات به درون سازند هم کم شده که نکته مثبت این نوع افزودنی ها است. اما با تحقیقات انجام شده در برآورد دو نکته قبل، میزان آسیب در عموم استفاده از این مواد کمتر می شود.

- بنتونایت (سدیم مونت موریلونیت)
- آتاپولجیت (مقاوم در برابر شوری)
- پلیمرها (که سه دسته هستند 1- طبیعی، نظیر صمغ زانتان 2- طبیعی اصلاح شده، نظیر کربوکسی متیل سلولز (CMC) 3- مصنوعی و ترکیب شده، نظیر پلی آکریل آمید)

3.2.2. افزودنی های کنترل کننده فیلترات گل

همان گونه که از نام این افزایه ها بر می آید، هدف آنها کاهش هرزروی گل است و فیلترات را کم میکنند، پس استفاده از آنها در کاهش آسیب سازندی تأثیر مثبت دارد.

- بنتونایت (سدیم مونت موریلونیت) ، به دلیل ساختار ورقه ای
- CMC
- نشاسته از قبل دلمه شده یا Pre-gelatinized
- لیگنیت ها
- پلی آکرلیت ها

4.2.2. افزودنی های ضد فوم

این افزودنی ها که به گلهای گازی تزریق می شود، برای از بین بردن فوم است. همان گونه که در فصل اول ذکر شد، فوم خود یک نوع گل از نوع سیالات هوایی محسوب می شد. اما گاهی اوقات تشکیل فوم برای ما ضرر دارد و از این افزایه ها استفاده می شود، بنابراین گرانیروی به شدت کاهش یافته و امکان شرایط سوختگی سازند (این اصطلاح قبلاً توضیح داده شده است.) و بسته شدن مجراها و حفرات و آسیب به سازند می گردد. عموم این دسته از افزودنی ها عبارت از:

- اکتیل الکل یا همان ایزو-اکتانول
- انواع گلاکول ها
- سیلیکون ها (ترکیبات آلی با فرمول عمومی R_2SiO)
- هیدروکربن های سولفاناته

توجه کنید علاوه بر اینها از دستگاههای Degassing به صورت مکانیکی می توان برای از بین بردن گاز موجود در گل و برای حذف فوم ایجاد شده استفاده کرد.

5.2.2. افزودنی های انعقادکننده

این افزودنی ها سبب چسبیده شدن ذرات معلق درون گل به یکدیگر و سپس افزایش گرانیروی گل حفاری می شوند. پس این افزودنی ها همان آثار و نتایج افزودنی های افزایش گرانیروی را بر روی خواص گل و در نهایت میزان آسیب وارده بر سازند از جانب گل، می شوند.

- نمک ها
- آهک هیدراته شده

- ژبیس
- سدیم تترا فسفات

6.2.2. افزودنی های ایجاد فوم

این افزودنی ها دقیقاً نتایج بر عکس افزودنی های ضد فوم بر روی آسیب سازند دارند:

- Surfactant ها
- مواد پلیمری

توجه کنید که این مواد در حضور آب عمل کرده و با فشار زیاد گاز جریان را به حلا فوم ویا Mist در آورده که دو نوع از انواع چهارگانه گلهای هوایی یا گازی است.

7.2.2. افزودنی های کنترل کننده هرزروی گل حفاری

اگر چه این نوع مواد بر روی ویژگی گل اثر واضحی ندارند، ولی در هنگام قرار گرفتن گل در کنار شکاف ها و یا محیط ماتریکسی با تخلخل زیاد، ویژگی های خود را نشان می دهند و مانع هرزروی زیاد گل به درون سنگ مخزن و در نهایت مانع از آسیب شدید مخزن ناشی ورود گل به درون آن می شوند.

این نوع افزودنی ها یکی از مهمترین افزایه ها در جهت کاهش آسیب سازندی هستند.

- ذرات دانه ای مثل پوست گردو
- ذرات لایه لایه ای و ورقه ای مثل ورقه های میکا
- ذرات رشته ای مثل فیبرهای نایلونی

8.2.2. سایر افزودنی های گل

افزودنی های گل دسته بندی بسیار گسترده و متنوعی دارند که دست کم علاوه بر موارد ذکر شده 9 دسته دیگر از این مواد هستند که اسامی این دسته ها در زیر آمده؛ علت عدم توضیح این دسته ها این است که موارد بیان شده در زیر تأثیر بسزایی بر روی خواصی که بر آسیب سازند و یا تقابل گل و سازند دارند، نداشته و یا این میزان بسیار اندک و قابل اغماض است. صرفاً در اینجا برای یادآوری این دسته ها نام آنها برده خواهد شد:

- ✓ افزودنی های کنترل PH یا همان آلكالینیتی
- ✓ افزودنی های باکتری کش
- ✓ کاهنده های کلسیم

- ✓ افزودنی های بازدارنده فرسایش و خوردگی
- ✓ امولسیون کننده ها
- ✓ روان کننده ها
- ✓ آزاد کننده های لوله حفاری
- ✓ کنترل کننده های شیل
- ✓ ایجاد کننده های شرایط تشکیل Surfactant در زیر زمین

این موارد هر کدام دارای زیر مجموعه های مخصوص به خود بوده و لذا برای جلوگیری از تفصیل مبحث و دور شدن از آن، صرفاً موارد مؤثر در آسیب سازندی مطرح و بحث شد.

فصل سوم

مروری بر آزمایش ها و کارهای گذشته

بر روی گل های حفاری در زمینه های گوناگون آزمایش هایی انجام می شود تا شرایط مطلوب را برای استفاده بدست آورند. آزمایش ها و کارهایی که عموماً بر روی گل در زمینه حجم فیلترات و یا ضخامت کیک گل و در کل آسیب سازند مطرح هستند، پیش زمینه فعالیت علمی ما را تشکیل می دهند.

1.3. مطالعات کلی بر روی گل در شرایط عملیاتی و آزمایشگاهی

افراد گوناگونی بر روی شرایط جریان سیالات حفاری درون چاه و تقابل آنها با سنگ و سیال مخزن و سازند و آثاری که بر روی یکدیگر می گذارند، مطالعاتی را انجام داده اند، که برخی از آن مطالعات جنبه آزمایشگاهی و برخی جنبه صنعتی دارند. برای رسیدن به شرایط خاصی از گل مطالعات متنوعی انجام شده است که تعداد آنها با توجه به انواع افزودنی بسیار زیاد بوده و به دلیل مفصل بودن و خارج از مبحث بودن موضوع، به آن موارد نخواهیم پرداخت. اما برای معرفی ناگزیر به بیان چند نمونه از این موارد هستیم. برای مثال M.Fefer توانست گلی را ترتیب دهد که هم پایه نفت دوست باشد و هم با محیط زیست همخوانی داشته باشد. [9] هم چنین R.B.Bennett نوعی از گل پایه روغنی که در فصل دوم آن را معرفی کردیم، یعنی Mineral را طراحی کند. [10] یا با توجه به خواص سازندهای ایران و عمق عمومی مخازن ایران، M.W.Strong خواص گل و تکنیک حفاری را برای این شرایط معرفی کرده است. [11]

اما آزمایش ها و مطالعات اساسی انجام شده بر روی گلهای حفاری که تا به حال انجام شده چنین هستند. برای مثال Pigott و همکاران بر روی حرکت سیال حفاری و دبی جریانی آن در چاه مطالعه انجام داده اند. [12] و یا با توجه به خواص گوناگون گل می توان مطالعات گسترده ای در نحوه توزیع جریان گل و دبی سیال حفاری انجام داد، کاری که John R. Eckel و همکاران بر آن مطالعه کرده اند، همین

موضوع گسترده و در عین حال پیچیده است. [13] H.N.Herrick نیز شبیه همین کار را انجام داده است. [14] در رابطه با موضوع شرایط دبی با توجه به ویژگی های گل R.W.Beck و همکاران تحقیقات زیادتری را انجام داده اند. [15] C.E.Williams و همکاران بر مبحث توانایی و ظرفیت سیال حفاری در انتقال ذرات گل و کنده های حفاری آزمایشهایی را انجام داده اند. [16] در هنگام وقوع نفوذ گاز یا همان kicking شرایط گل بسیار مهم است که چگونه در چنین مواقعی عمل کند. J.A.Tarvin و همکاران بر روی نفوذ سریع گاز به گل و آثار ناشی از آن و عکس العمل خود شرایط گل مطالعه کرده اند. [17] علاوه براین R.Rommetveit بر روی این پدیده در چاههای انحرافی و مایل کار کرده است. [18] برای گلهای پایه آبی و هم پایه نفتی با دقتی زیاد در رابطه با این پدیده، آقای B.T.Anfinssen و همکاران کار کرده اند. به گونه ای که تغییرات در پارامترهای گوناگون گل در هنگام مواجهه با ورود گاز به چاه و گل را بررسی کرده اند. [19] میدانیم که دو پارامتر تأثیرگذار بر سایر ویژگی های گل حفاری، دما و فشار هستند. دو عاملی که همراه با افزایش عمق چاه زیادتر می شوند. پس یکی دیگر از مطالعات مربوط به سیالات حفاری، مطالعه بر روی تغییرات یکی از پارامترها نسبت به تغییرات دما و فشار است. برای مثال Ralph D.Lynn و همکاران تأثیر دما و فشار را روی مقاومت الکتریکی گلها بررسی نموده اند. [20]

2.3. مطالعات انجام شده در زمینه تقابل گل و سازند

نکته قابل تأمل این است که مطالعات انجام شده بر روی تقابل گل و سازند به دلیل پیچیدگی زیاد شرایط عملیاتی بسیار کم و محدود انجام شده است. لذا مطالعات معمولاً به گونه ای بر قسمت خاصی از گل، مثلاً حجم فیلترات و یا ... انجام می شود و نتایج در یک محدوده خاصی از شرایط ارائه می گردد. پس برای رسیدن به میزان آسیب گل حفاری بر سازند، مطالعه این بخش مفید خواهد بود.

به طور کلی L.R.Records و همکاران عوامل گوناگون در آسیب رسانی گل حفاری به سازند را بررسی کرده اند. [21] آقای Di Jiao و همکاران این نکات را در مخازن شکاف دار مورد مطالعه قرار داده اند و میزان هرزروی گل را بررسی نموده اند و در حقیقت این کار را شبیه سازی کرده اند. [22] T.Azizi و همکاران شرایط آسیب سازندی در یک چاه غیر پایدار را با یک گل حفاری تقویت شده و با شرایط بهینه، سنجیده اند. [23] همچنین W.Jin و همکاران چنین کاری را در سازند دیگر شبیه سازی کرده اند. [24] یک نوع از گل های طراحی شده در شرایط بهینه یا به اصطلاح گل تقویت شده، میتواند گل حفاری پلیمری باشد، که Z.Krilov و همکاران از این نوع طراحی در یک نوع چاه افقی بهره جسته اند. [25]

همان گونه که در فصول گذشته گفته شده بود عامل اصلی آسیب سازندی با سیال حفاری، نوع حفاری به شیوه فراتعادلی است. حال Kegang Ling و همکاران در این شیوه میزان حجم فیلترات وارده به سازند و در نتیجه میزان آسیب را مطالعه نموده اند. [26]

C.K.Ferguson و همکاران بر روی میزان فیلترات گل در شرایط همزمانی با عملیات حفاری مطالعاتی را انجام داده اند. به گونه ای که درایالت کالیفرنیا ای امریکا آزمایشی را به صورت مدلی از

چاهی ترتیب دادند که حجم فیلترات گل را نسبت به شرایط گوناگون نظیر ویژگی های گل، سرعت چرخش رشته حفاری و یا فشار بررسی کرده اند. [27] این مطالعات نتایج سودمندی را به دنبال داشته است. همچنین C.L. Prokop و همکاران توانستند شرایط ایجاد فیلترات به صورت شعاعی در چاه و سازند مورد مطالعه قرار دهند. [28] این کار را M.Walliams مجدداً انجام داده است. [29]

روش های گوناگونی برای جلوگیری از آسیب های زیاد گل انجام میشود، که یکی از این روش ها را M.L.Ventresca و همکاران با محافظت از سازند با مواد شیمیایی انجام داده است. [30] همچنین Ali Habibi و همکاران در دانشگاه تهران بر روی کاهش نفوذ ذرات ریز گل یا همان اصطلاح مشهور Fine Migration با استفاده از تزریق نانوسیالات، به درون سنگ مخزن مطالعاتی را انجام داده اند. [31] می دانیم که همین نفوذ ذرات باعث بسته شدن خلل و فرج شده و در نهایت هر چه این میزان کمتر گردد، رسوب گذاری کمتر شده و در نتیجه آسیب هم کمتر می شود.

3.3. مطالعات آزمایشگاهی در سنجش آسیب

در این زمینه مطالعات و آزمایش ها بسیار بسیار محدود بوده و معمولاً هیچ کدام از محققان و مهندسان طرز ساخت دستگاهها و یا طریقه انجام آزمایش ها را بیان نمی کنند و صرفاً به نتایج بدست آمده از آن تست ها بسنده می کنند. برای مثال J.C.Shaw و همکاران به صورت آزمایشگاهی میزان آسیب سازندی را در یک چاه افقی سنجیده اند. [32] همچنین M.T.Byrne و همکاران طی تکنیکی خاص به مطالعه آزمایشگاهی تخمین آسیب سازند پرداخته اند. [33] در ایران نیز در دانشگاه صنعتی امیرکبیر به منظور سنجش آثار آب های مغناطیسی در مخزن، دستگاهی طراحی شده که می تواند آسیب سازندی را تخمین بزند. دستگاه و آزمایشی نیز توسط H.N.Bjordalen و همکاران طراحی شده که میزان پارامترهای مؤثر در فیلترات گاز آرفین به عنوان گل را تخمین می زنند. [34] علاوه براین تخمینی محاسباتی و آزمایشگاهی را از آسیب سازندی در حین استفاده از گل حفاری توسط Mustafa Versan Kok انجام شده است. [35] همچنین Bahador Vakilinia با استفاده از دستگاه مافوق صوت به مطالعه آزمایشگاهی و یافتن راهی برای کاهش آسیب با استفاده از کنترل فیلترات گل و کاهش ضخامت اندود گل دست زده است. [36] N.S.Zhang و همکاران نیز بر روی آسیب سازندی در تزریق آب و نفت به چاه، به صورت آزمایشگاهی بحث کرده اند و آن را تخمین زده اند. [37]

4.3. مطالعات انجام شده در ارتباط مدل سازی و آسیب سازندی

در ابتدا باید گفت که منظور از مدل سازی در نظر گرفتن حرکت سیال در محیط متخلخل بوده که در رابطه با این موضوع و پدیده Fine Migration که با آن بی ارتباط نیست، به طور مفصل در پیوست تحت نام فصل ششم با عنوان « مروری بر مدل سازی » بحث شده است.

1.4.3. مطالعات جامع در مورد Fine Migration

همان گونه که در پیوست آمده مهاجرت ذرات یک پدیده منفی در استفاده از سیالات غیر مخزنی است که سبب کاهش تراوایی مخزن و در نهایت آسیب سازندی و ایجاد پوسته با ضریب مثبت می شود. در این زمینه اما در مقیاس جریان یک بعدی از مخزن آقای S.Vitthal و همکاران به مطالعه پرداخته اند، که چگونه Fine Migration بر آسیب سازند اثر می گذارد. [38] همچنین Amit K.Sarkar و همکاران بر روی عوامل گوناگون تأثیرگذار بر این پدیده، از عوامل اصلی که در فصل ششم بحث شده تا عوامل فرعی دیگر، مطالعه انجام داده است. [39] S.Priisholm و F.Civan و همکارانشان در گروه های جداگانه بر تأثیر این پدیده در بستن خلل و فرج ها پرداخته و عوامل دیگر را نظیر انبساط رس ها در اثر تماس با آب و ... را وارد بحث خود کرده اند. [40,41] هرچند گروه اول در مورد یک نوع خاصی از مخزن های ماسه سنگی در دانمارک صحبت کرده، ولی نتایج آن را می توان برای مقایسه با تحقیقات دیگر استفاده نمود. S.M.Mohnot در رابطه به ذرات معلق سیال حفاری تحقیقاتی را انجام داده و رفتار آنها در محیط های گوناگون و شرایط متفاوت مورد بررسی قرار داده است. [42] هر چند مطالعه ایشان آنچنان با موضوع رفتار سیال در محیط متخلخل همخوانی ندارد، ولی برای کنترل این ذرات مطالعه این پژوهش خالی از لطف نخواهد بود. همچنین M.G.Reed و همکاران در رابطه با آسیب سازندی مطالعه کرده اند که یک نوع از این آسیب های بررسی شده از نوع مهاجرت ذرات است. Y.M.Mori Kwan [43] و همکاران بر روی یک مخزن نفت سنگین کانادا در مورد Fine Migration بحث و تبادل نظر کرده اند و علاوه برآن M.M.Shama و همکاران همین آزمایش ها و تحقیقات را روی یک مخزن ماسه سنگی انجام داده اند. [44,45] یا K.Qiu همین کار را بر روی یکی از مخازن لیبی انجام داده است. [46] Pavel G.Bedrikovetsky و همکاران در مورد سنجش عددی و محاسباتی این نوع آسیب تحقیقاتشان را انجام داده اند. [47] H.A.Ohen و همکاران با در نظر گرفتن راه حل های عددی و محاسباتی و با استفاده از مدل Ohen و Civan برای شبیه سازی این مقوله، با در نظر گرفتن متغیرهای مؤثر در آسیب سازندی و جریان های شعاعی چاه و سازند و عوامل مؤثر در Fine Migration به یک مطالعه کامل و جامع دست زده اند، که نکات درخور توجهی داشته است. [48]

2.4.3. راه حل های جلوگیری از Fine Migration

نکته قابل توجه این است که تمامی افراد پیش گفته در مطالعات خود عوامل گوناگون مؤثر در مهاجرت ذرات را مورد بحث قرار داده اند و هر کدام بر اساس شرایط بر روی یکی از عوامل فشار و دبی یا شوری و یا pH و ... متمرکز شده اند. برای اطلاع از تأثیر این متغیرها می توانید به فصل ششم (پیوست) مراجعه نمایید.

اما برای جلوگیری از این پدیده راههای گوناگونی وجود دارد. متأسفانه عمده این راه حلها برای سیالات تحریک کننده مخزن نظیر اسیدها و یا سیالاتی که به منظور ازدیاد برداشت هستند، ارائه شده اند. اما میتوان از این راه حل ها جهت استفاده در سیالات حفاری که ساختاری شبیه به سیالات مطالعه شده

دارند، بهره جست. یکی از این راه حل ها در قسمت انتهایی بخش دوم همین فصل آورده شد. مکانیزم این راه حل که بر اساس نانوسیالات و نانو ذرات است این می باشد که ذرات به جای لخته شدن بر روی سنگ و کاهش تراوایی مؤثر، با مکانیزم جذب سطحی بر روی نانوذرات چسبیده و نانو ذرات مانع رسوب آنها در محیط متخلخل می شوند. چرا که ذرات چسبیده روی نانوذرات در مقیاس نانو بوده و در خلل و فرج ها و گلوگاه های آن ها که مقیاس میکرو دارند به راحتی حرکت می کنند. [31] راه حل دیگر استفاده از مواد و تکنولوژی منحصر بفردی است که به سیمان ها و گل ها برای جلوگیری از فیلترات و Fine Migration زده می شود. این راه حل توسط D.L.Bour و همکاران انجام شده است. Tianping Huang [49] و همکاران با استفاده از تزریق نانو ذرات طبق مکانیزم ذکر شده مانع این پدیده شده اند. [50] همچنین Danial Arab از ایران با همکاری دانشگاه شیراز اثر نانو ذره های SiO_2 و MgO در کاهش مهاجرت ذرات و در نتیجه آسیب سازندی مطالعات و تحقیقاتی را به سرانجام رسانیده اند. [51]

فصل چهارم

ارائه طرح آزمایشگاهی

در این فصل بر شرح کلی از طرح ساخت دستگاه تخمین آسیب سازند در تقابل با سیال حفاری خواهیم پرداخت. به گونه ای که در این گزارش به عنوان فاز اول پروژه بزرگ اجرایی و عملی ساخت دستگاه، طرح کلی و ایده کلی ساخت را خواهم داد و در صورت وجود امکانات و بودجه در آینده، فاز دوم آن - یعنی ساخت خود دستگاه - جزئیات با دقت موشکافانه مطرح و بحث خواهد شد.

1.4. اصول کلی طرح

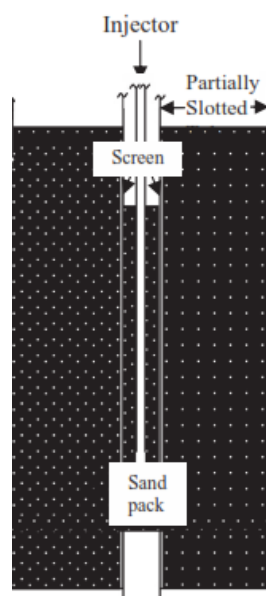
در این قسمت مبانی کلی طرح بیان می شود. در هنگام استفاده از گل حفاری بسیار شرایط مطمئن تر خواهد بود، زمانی که بدانیم که این گل در یک شرایط فشاری و با دبی معین چه اثری بر سازند میگذارد. زمانی که خود سازند حاوی سیالات گوناگون بوده و شرایط ترشوندگی آن در مقیاس حفره ها و همچنین مقدار تخلخل و تراوایی بسیار پر اهمیت خواهد بود. پس مهم است که در ابتدا شرایط به صورتی تعبیه شود که دبی سیال حفاری و فشار آن و همچنین فشار مخزن در تست قابل کنترل باشد و علاوه بر این شرایط پتروفیزیکی مخزن در نمونه تقریباً صدق کند. برای انجام این تست ها بر روی نمونه های گرفته شده از مخزن نظیر core ها، به دلیل کنترل سخت در تشکیل جریان درون نمونه به این شکل، آن گونه که چاه در مخزن ایجاد میکند، بهتر است از نمونه های دست ساز از سنگ مخزن به صورت دانه های ریز شن و رس و یا ... محیطی متخلخل با میزان تخلخل و تراوایی دلخواه ایجاد نماییم.

2.4. ساختار کلی دستگاه

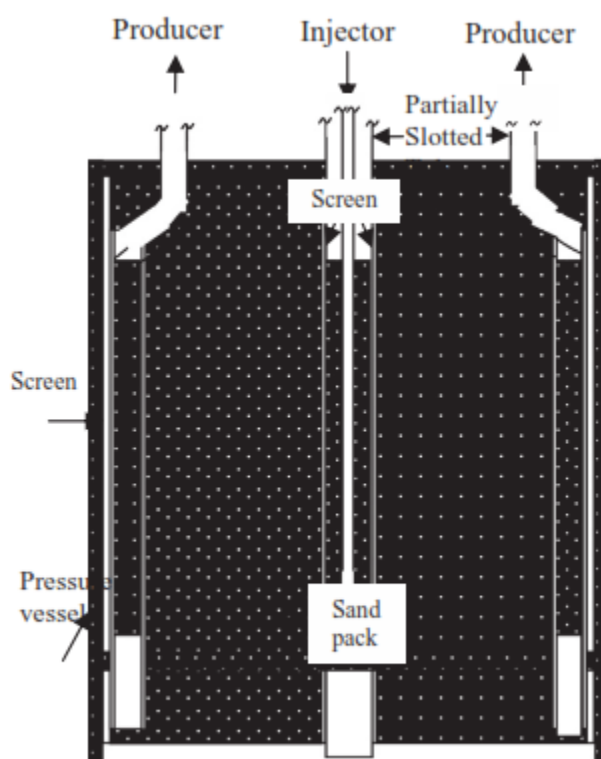
صورت کلی دستگاه یک محفظه آلومینیومی به شکل یک استوانه با قطر و ضخامت بدنه نسبتاً زیاد است. به گونه ای که در مرکز این استوانه چاه تزریقی قرار گرفته که خود میتواند لوله ای فلزی با قطرهای گوناگون با توجه به قطر چاه واقعی، باشد. در انتهای چاه تزریقی یا همان چاهی که گل حفاری در آن تزریق می شود، شرایط به صورت خود سازند در هنگام حفاری است که گل تماس مستقیم با سازند دارد. هر نوع گل از محفظه مخصوص گل با استفاده از یک پمپ برای گل های مایع و یک کمپرسور برای گل های گازی، به مسیر گفته شده برای تزریق منتقل می شوند. اما باید توجه کرد که در مسیر تزریق گل یک دبی سنج و یک فشار سنج قرار گیرد که شرایط تزریق گل، همان شرایط حفاری چاه در سازند واقعی باشد. در دو انتهای محفظه دو فشارسنج جاسازی می شود که به صورت دائمی فشار محفظه را در دو انتهای نمونه بسنجیم. به گونه ای که اگر این فشارسنج ها به صورت ناگهانی افزایش فشار را نشان دادند، نمایان گر رسیدن سیال به انتهای محفظه است و زمانی است که باید تزریق را متوقف کرد، چرا که اوج شرایط وخیم را نشان می دهد؛ یعنی زمانی که حجم فیلترات گل مورد نظر بسیار بسیار زیاد است و گل برای حفاری اصلاً مناسب نمی باشد.

اگر در دو انتهای محفظه، دو لوله دیگر قرار دهیم به معنای مسیری برای تعیین تراوایی در مرحله پس از تزریق، می توان با یک گاز بی اثر مثل هلیوم یا نیتروژن، تراوایی را مجدداً محاسبه نمود و در نهایت مقدار پوسته (Skin) محاسبه میشود. همه این محاسبات را می توان با دادن برنامه ای به یک کامپیوتر به صورت هوشمند و سریع بدست آورد. برنامه ای که اساسش معادلات داریسی است. چرا که تنها کافی است مشخصات دبی، اختلاف فشار و ... را به سیستم داد و آن این محاسبات را انجام دهد. این اختلاف فشار همان اختلاف اعداد نشان داده شده توسط فشارسنج های کناری با عدد فشارسنج لوله مرکزی است.

برای تصور کلی از دستگاه بهتر است به شکل 1 به صورت عدم وجود لوله های کناری، و شکل 2 با حالت وجود لوله های کناری، در زیر آورده شده است.

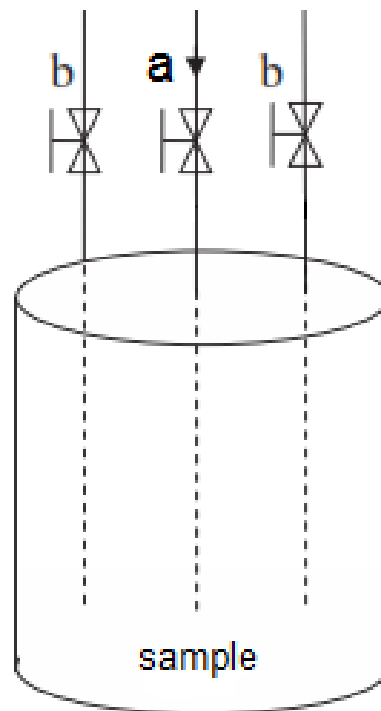


شکل 1: نمای کلی از ساختار دستگاه بدون لوله های کناری



شکل 2: نمای کلی از دستگاه با در نظر گرفتن دو لوله تولیدی در کناره ها

محل قرارگیری فشار سنج ها در مسیر خطوط جریان در شکل 3 نمایش داده شده است. همان طور که پیداست یک فشار سنج در مسیر حفاری اصلی یعنی مسیر a تعبیه شده، که ما باید فشار جریان تزریقی گل را از آنجا تنظیم کنیم و با کم و زیاد کردن دبی کمپرسور یا پمپ، و خواندن عدد این فشارسنج به فشار تزریقی دلخواه خود برسیم. مسیرهای b نیز برای تعیین فشار محفظه در دو انتهای Cell قرار میگیرند و اختلاف فشار را تعیین می کنند تا بتوانیم، با آن مقدار Skin بوجود آمده از حفاری با گل حفاری را بدست آوریم. پس با این روش می توانیم دریابیم به صورت شهودی و قیاسی بهترین شرایط برای استفاده از یک نوع گل خاص و یا بهترین گزینه گل برای یک نوع سازند خاص را بدست آوریم.



شکل 3: محل قرارگیری فشارسنج ها در دستگاه

توجه کنید که فضای مابین لوله ها با همان نمونه ای که روی آن آزمایش انجام می شود و ساختار آن در زیر توضیح داده خواهد شد، پر می شود. سیالات موجود در مخزن نیز طبق شرایط زیر در نمونه توزیع می شوند.

3.4. تشکیل شرایط خواص سنگ و سیالی مخزن، در نمونه

برای این کار از ذرات ریز و کوچک دانه ای که سازنده اصلی عموم سنگ ها هستند، استفاده می شود. این ذرات را که در حقیقت همان رس ها و شن ها هستند، با قرارگیریشان در کنار هم شرایط تراوایی و

تخلخل را به صورت گوناگون ایجاد می کنند. اما برای اینکه بدانیم میزان تخلخل و تراوایی نمونه همان مقدار مخزن است، با ریختن نمونه در دستگاههای اندازه گیری تخلخل و تراوایی از این مقادیر اطمینان حاصل می کنیم. اما اینکه مخزن آبدوست است و یا نفت دوست برای شرایط توزیع سیال در نمونه برای ما مهم است. عموم این مواد آبدوست هستند، پس در صورت آبدوست بودن مخزن مشکلی نداریم، ولی از آنجایی که عموم مخزن ها - به خصوص در ایران - نفت دوست هستند، برای تبدیل کردن نمونه به نفت دوست، کافی است تولوئن در ابتدا به نمونه تزریق شده و محیط را نفت دوست نماید. پس از تکمیل این مراحل می توان با توجه به حجم سیالات موجود در مخزن، توزیع سیالات را در نمونه شبیه سازی کرد. به گونه ای که درصد حجمی مشخصی از سیال که باید فضای متخلخل را پر کند، قبل از تزریق اصلی تست یعنی همان تزریق گل، به نمونه تزریق می شود. با توجه به نکات گفته شده حال نمونه آماده تزریق سیال حفاری است.

4.4. حل بحران آسیب سازندی

با توجه به نکات بیان شده در قسمت های دوم و سوم از این فصل می توان بیان کرد که حال پس از این مراحل شرایط به حد ایجاد آسیب - چه خفیف و چه جدی - رسیده است. حال با این دستگاه می توان به این نکته رسید که چه سیال تزریقی دیگر می تواند برای حل این آسیب که چه اندود گل باشد و چه فیلترات آن، به مخزن تزریق شود.

مثلاً اگر نیاز باشد اسیدی به مخزن زده شود، برای گزینش بهترین اسید تزریقی، بهترین درصد خلوص اسید، بهترین روش تزریق اسید و بهترین فشار و دبی اسید تزریقی را، با این دستگاه می توان انتخاب کرد. به این صورت که پس از تزریق گل و محاسبه ضریب پوسته، اسید و یا هر سیال دیگر که به جهت کاهش آسیب استفاده می شود را به درون دستگاه و نمونه تزریق کرده تا شرایط پس از تزریق این سیال نیز بدست آید. تمامی نکات دبی و فشار کاملاً شبیه ساختار قبلی تزریق گل است. پس از تزریق اسید و یا هر سیال تحریک کننده دیگر، دوباره طبق مکانیزم های پیش گفته تراوایی و سایر پارامترهای مهم تولیدی را سنجیده و قدرت اثربخشی اسید و مفید بودن استفاده از آن طبق شرایط اعمال شده، مشخص می گردد.

5.4. خلاصه روند کار دستگاه

برای جمع بندی این فصل که ساختار عملکرد و طراحی دستگاه را دربر داشت، مراحل استفاده از دستگاه و طریقه ساخت آن به صورت فهرست وار به شرح زیر است:

A. ساخت محفظه ای آلومینیومی به شکل استوانه با قطر و ضخامت زیاد و ارتفاع نه چندان زیاد

B. قرار دادن یک چاه اصلی تزریقی در مرکز به شکل یک لوله تا عمق مشخصی از محفظه

C. طراحی دو خط تولیدی و یا منترل فشار در دو انتهای محفظه طبق شکل 3

D. تعبیه سه فشارسنج در مسیر خطوط تزریق و کنترل فشار (همان خط تولیدی) و یک دبی سنج در مسیر خط گل حفاری تزریقی

E. طراحی محفظه هایی برای نگهداری سیال حفاری تزریقی

F. پر کردن فضای بین خطوط کنترل فشار و تزریقی با استفاده از نمونه تعیین شده از خواص سنگ مخزن. (نمونه ای که از ذرات ریز شن و رس تشکیل شده و از ترکیب این اجزا با هم به تراوایی و تخلخل موجود در مخزن رسیده ایم.)

G. تزریق نمونه هایی از سیالات موجود در مخزن به نسبت درصد حجمی هایی که در مخزن تخمین زده می شود و در نهایت رساندن شرایط خواش سیالی نمونه به خواص سیالات مخزن

H. تزریق سیال حفاری از محفظه های نگهداری با استفاده از پمپ برای سیالات مایع و کمپرسور برای سیالات گازی و هوایی، از طریق خط جریان a طبق شکل 3 به درون نمونه طراحی شده

I. محاسبه جدید تراوایی پس از تزریق با استفاده از رابطه دارسی و با اختلاف فشار بین خطوط a و b و با استفاده از برنامه کامپیوتری از قبل نوشته شده.

J. پس از محاسبه تراوایی میزان Skin بدست آمده و در نهایت میزان آسیب و یا Damage بدست می آید.

K. (مرحله دلخواه) تزریق سیال تحریک کننده مثل اسید برای از بین بردن میزان آسیب، و در نهایت ملاحظه میزان اثربخشی این سیال در رفع و یا حذف کلی آسیب، با استفاده از همان روندهای پیش گفته شده.

پس طبق مراحل اعلام شده می توان عملکرد را در نظر گرفت و آن را در فاز دوم پروژ که همان ساخت دستگاه است، به مرحله اجرا درآورد.

نکته قابل توجه دیگر آن است که ممکن است در جریان فاز دوم هر کدام از این موارد دچار تغییر شده و یا موارد جدیدی به این مراحل افزوده شود، چرا که در معیار عملی طرح دقت و نکات ریز مسلماً نیازمند توجه و تست عملی است و با دقتی دوجندان طرح اجرایی بازنویسی می شود. چون در آن مرحله با اجرای طرح، با نکاتی مواجه می شویم که در هنگام اجرای تئوری با آن برخوردی نداشته ایم. پس لازم به ذکر است که در صورت مواجهه با کمبودهای این طرح باید در مرحله اجرا آن را رفع کرد.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادها

1.5. نتیجه گیری و فواید

از آنجایی که طرح به صورت اجرا در نیامده است و فاز اول طرح صرفاً طراحی آن است، لذا نتایج خاصی به صورت آزمایشگاهی و اجرایی نخواهیم داشت و این نکات در پیش رو را می توان در حقیقت به عنوان فواید این طرح بیان کرد:

- برای سنجش میزان آسیب معمولاً از چاه آزمایشی های تولیدی و یا انواع لاگ های چاه پیمایی نظیر نوترون، صوتی و یا دانسیته استفاده می شود. متنها این لاگ ها و یا تست ها هر کدام دارای خطا و محدودیت هایی هستند. مثلاً لاگ نوترون و صوتی به وجود گاز حساس بوده و یا لاگ صوتی به ضخامت زیاد اندود گل حساس بوده و در نتیجه خطاهایی را در مواجهه با این عوامل ایجاد می کنند. اما در این روش آزمایشگاهی به علت نظارت مستقیم بر انجام تست، هیچ کدام از این خطاها بوجود نخواهد آمد.
- به دلیل ساختار آزمایشگاهی تست و عدم عملکرد میدانی حفاری، هزینه های ناشی از انتخاب نادرست و یا اشتباه گل در مقیاس حفاری یک چاه به هیچ وجه بوجود نیامده و در نتیجه با انجام یک تست ساده آزمایشگاهی هزینه ها به کمترین میزان خود می رسند.
- در صورت انجام حفاری با یک نوع گل خاص و ایجاد آسیب به آن سازند، برای رفع این مشکل می توان از این دستگاه استفاده نمود. به این طریق که ابتدا تست را برای آن نوع گل حفاری اصلی انجام داده و سپس با یک سیال تحریک کننده نظیر اسیدها، مجدداً تست را انجام می دهیم. در چنین شرایطی است که می توان میزان بهره وری از آن سیال محرک را تشخیص داد و بهترین شرایط بهینه برای تزریق و از بین بردن آسیب را دریابیم.

- می توان تست را برای انواع سنگ ها و با ترکیبات گوناگون به صرف تعیین تخلخل و یا تراوایی استفاده کرد. یعنی بخواهیم بفهمیم با ترکیب درصد های گوناگون ذرات با تخلخل و تراوایی منحصر بفرد خود، این مخلوط ترکیبی چه تراوایی دارد.
- برای انواع سیالات حفاری که در فصول گذشته مطرح شد، اعم از گل های مایع چه پایه روغنی و چه پایه آبی و یا گل های هوایی (گازی) و یا فوم ها و ... و با هر نوع افزودنی های بیان شده در قبل، این دستگاه قابل استفاده است.

2.5. پیشنهادها

- پیشنهادهای مطرح شده در زیر، همگی بر این اساس هستند که در صورت اجرایی شدن طرح، این روش ها و پیشنهادها ممکن است در بهبود عملکرد دستگاه مؤثر باشند:
- می توان از خطوط کنترل فشار یا همان تولیدی استفاده نکرد، به گونه ای که از آنجایی که با قدرمطلق اختلاف فشار سر و کار داریم، می توان دو سمت محفظه را با هوای اتمسفری در تماس قرار داد، و لذا فقط فشار مطلق خط تزریقی را به عنوان اختلاف فشار در محاسبات و برنامه نویسی لحاظ کرد.
 - برای ثبات جریان در همه جهات می توان در لوله مرکزی سوراخ هایی به صورت مشبک کاری ایجاد کرد تا جریان به صورت یکنواخت تر پخش شود.
 - تا میتوان قطر سطح مقطع استوانه را بزرگ در نظر گرفت و بر روی درپوش سوراخ هایی را ایجاد کرد تا بتوان دو خط کنترلی کناری را در مقیاس های گوناگون جابجا کرد به گونه ای که نسبت به چاه مرکزی (لوله میانی) دور و یا نزدیک شوند. بدین ترتیب میزان آسیب در هر فاصله معین سنجیده می شود. فقط تنها عیب این کار این است که با اضافه شدن قط استوانه، حجم نمونه ای که باید فضای مابین دو لوله را پر کند بسیار زیادتر می شود.

فصل ششم

(پیوست)

مروری بر مدل سازی

در این فصل منظور از مدل سازی در نظر گرفتن شرایطی است، که سیال در محیط متخلخل حرکت کرده و آن سیال که همان گل حفاری باشد، روند حرکتش و رفتارش به چه عواملی بستگی دارد. علت این بررسی آن است که در حقیقت آسیب سازندی از طرف گل حفاری، در محیط متخلخل گل اتفاق افتاده، و لذا پیش بینی رفتار سیال در این محیط برای ما سودمند خواهد بود. در این صورت است که میتوان نتایج آزمایشگاهی دستگاه را با پیش بینی ها مورد مقایسه قرار داد.

1.6. تعریف کلی از Fine Migration

Fine Migration یا همان مهاجرت ذرات ریز، در حقیقت به انتقال ذرات جامد بسیار ریز موجود درون سیالات درون محیط متخلخل و تراوا گفته می شود. از آنجایی که این ذرات جامد درون سیالات معلق هستند، نظیر ذرات گل درون سیال حفاری و یا ذرات افزودنی ها، لذا باید بر شرایط تعادلی سیستم نیز دقت کرد. شرایطی که متأثر از عوامل گوناگونی مثل دما، فشار، زمان و ... می باشد. این سیالات و جامدات معلق در آنها در حقیقت به یک شرایط کلوئیدی رسیده اند و لذا در هنگام حرکت آنها در محیط متخلخل هم باید جامدات را در نظر گرفت و هم باید قسمت مایع یا فاز پیوسته سیال را مورد بررسی قرار داد. علت آنکه این موضوع مهاجرت ذرات ریز برای ما مهم است این می باشد که با حرکت این ذرات جامد درون محیط متخلخل با رسیدن آنها به گلوگاههای حفرات، آنها در آنجا تجمع پیدا کرده و لذا تراوایی محیط متخلخل را کم می کند. این عاملی است که به اصطلاح به آن آسیب سازندی گفته می شود. پس در هنگام تزریق سیال به مخزن برای جلوگیری از این پدیده باید راه حل هایی را یافت و باید عوامل مؤثر در آن را شناسایی نمود.

نکته مهم اینجاست که باید عواملی که در حقیقت بر روی نفوذ ذرات به محیط متخلخل و در نهایت رسوب آنها اثر می گذارند، را بررسی نمود. بعضی از این عوامل عبارت اند از:

- pH سیال تزریقی و سیال موجود در مخزن

- درجه شوری دو سیال ذکر شده

- پتانسیل الکتریکی ذرات معلق و پتانسیل زتا

- فشار، دبی، دما و ...

توجه داشته باشید که همه این عوامل در مقیاس ذرات تشکیل دهنده ماده مثل یون ها، مولکول و یا اتم عمل کرده و آثار خود را فراتر از این محدوده می گذارند.

علازم آنکه این موارد آنچنان در تقابل سازند و گل حفاری مؤثر نیستند و عمده کاربرد آنها در تحریک مخزن با اسید ها و مواد شیمیایی دیگر و یا تزریق مواد گوناگون به مخزن جهت ازدیاد برداشت یا همان EOR است، در این فصل به عنوان پیوست به بحث در مورد این پارامترها خواهیم پرداخت.

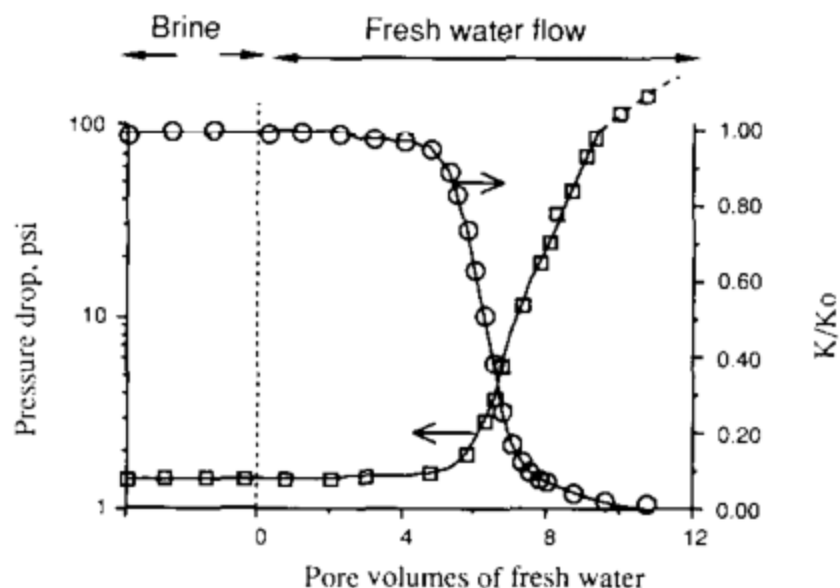
2.6. عوامل مهم مؤثر در Fine Migration

حال به شرح کلی هر یک از پارامترهای مهم و تأثیرگذار خواهیم پرداخت:

1.2.6. درجه شوری سیال تزریقی

در مجموع عوامل گوناگونی در آسیب سازند نقش دارند و هر کدام به نحوی و با مکانیزم مخصوص خود تراوایی سازند را کاهش می دهند. یکی از این مکانیزم ها و اتفاقات قرار گیری سیال با درجه شوری متفاوت نسبت به سیال مخزن در کنار سنگ و سیال مخزن است. به گونه ای که اگر آب خالص یا آبی که حاوی یون های معلق زیادی نباشد – آب با درجه شوری پایین – در تماس با سنگ و سیال مخزن قرار گیرد، میزان تراوایی را به شدت کاهش می دهد. [52] علت امر هم تغییر در میزان شارژ الکتریکی سیال در تماس با دیواره حفارت است. به گونه ای که با تغییر این شارژ که در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد، ذرات رس بر روی دیواره حفارت به شکل مو مانند و یا آستری پل می زنند و در نهایت همراه با جریان سیال وارد گلوگاهها می شوند و در نهایت تراوایی را بسیار کاهش می دهند. در شکل 4 اثر این پارامتر را به وضوح مشاهده می کنید و می بینید که تا چه حد بسته شدن گلوگاه ها می تواند بر تراوایی اثر منفی داشته باشد.

این اتفاق کاهش تراوایی زمانی به وقوع می پیوندد که دو سیال با درجه شوری گوناگون و به تبع درجه پتانسیل الکتریکی مختلف، در تماس با هم باشند؛ ای در حقیقت زمانی است که به آن در اصطلاح «شوک آبی یا Water Shock» و یا گاهی اوقات «حساسیت آبی یا Water Sensitivity» گفته می شود.



شکل 4: اثر شوری سیال تزریقی در کاهش تراوایی

پس بهتر است که، اول سیالی انتخاب شود که شرایط اختلاف شوری زیاد نباشد و دوم هم اگر سیالی با اختلاف شوری انتخاب شد، شرایطی داشته باشد که ذرات جامد را در پایین دست جریان رسوب ندهد.

2.2.6. pH سیال تزریقی

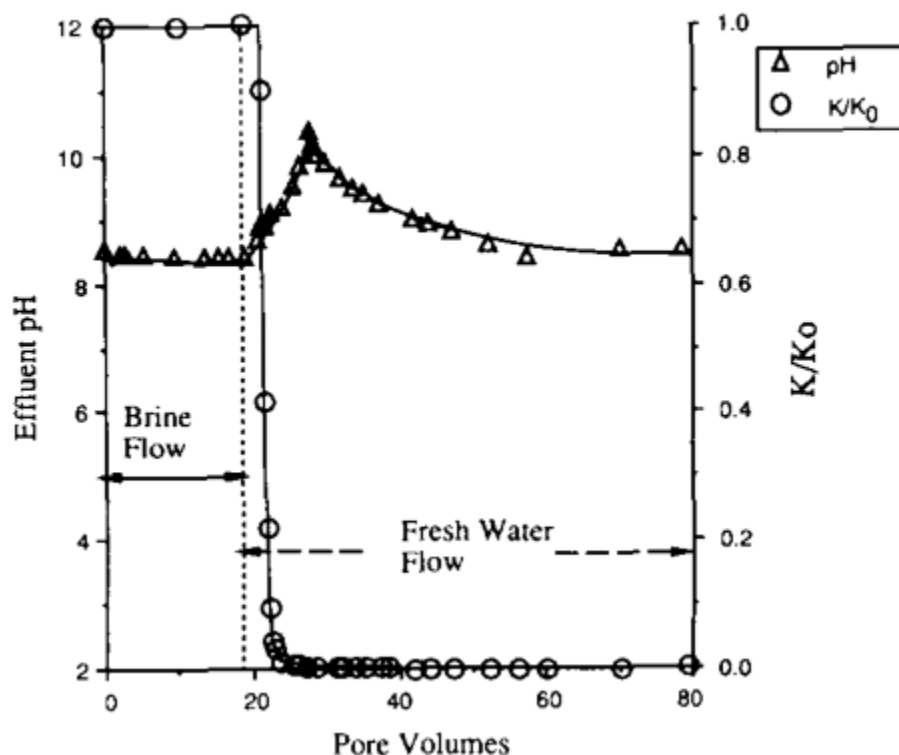
یکی از پارامترهای مهم در این زمینه pH سیال است. این پارامتر که ارتباط نزدیکی با پارامتر اول یعنی درجه شوری دارد، پارامتری است که محققان بر روی آن بخصوص در زمینه ازدیاد برداشت، بسیار تحقیق کرده اند.

این پارامتر، در موقع شوک آبی هم در سیال تزریقی تغییر می کند و هم در سیال جابجا شونده در ازدیاد برداشت و یا سیال مخزنی در حفاری با سیالات گوناگون حفاری. نکته اینجاست که در هنگام وقوع Fresh Water Shock دو نکته وجود دارد: [53]

(1) همزمان با کاهش شدید در تراوایی، میزان pH سیال جاری شونده یا همان Effluent ناگهانی زیاد می گردد.

(2) میزان انحنا و کاهش منحنی تراوایی، می تواند به حداقل خود برسد، زمانی که pH سیال تزریقی کاسته شود.

برای روشن شدن این قضیه، و کاهش این انحنا بهتر است به شکل 5 مراجعه کنید، تا افزایش pH را نیز در آن مشاهده نمایید:



شکل 2: تغییرات تراوایی و pH سیال جاری شونده در هنگام Water Shock

کاهش شدید شوری سیال در تماس با دیواره حفرات و تغییر در ساختار سیال، باعث می شود که تغییراتی در pH هم بوجود آمده و یعنی اینکه یون های موجود در آب شور مخزن به علت تفاوت در غلظت نمک و یون در بین سیالات یک اختلاف پتانسیل بوجود آمده و ذرات با بارهای الکتریکی مثل Na^+ از آب سازند وارد آب خالص شده و با پروتون موجود در آب جابجا می شوند. این جابجایی یون ها سبب تغییرات در درجه الکتریکی و پتانسیل سیالات گشته و هم زمان تغییرات pH را به دنبال دارد. این نکته ای است که هم زمان تغییرات شوری و pH مد نظر است.

برای مثال طبق تحقیقات انجام شده برای تزریق در ماسه سنگ حاوی آب شور، میزان pH کمتر از مقدار 2.6 نمی تواند آسیبی در سازند ایجاد کند. [53-58]

3.2.6. اثر دبی و اختلاف فشار

مسلماً هر چه اختلاف فشار ستون گل حفاری و سیال سازند بیشتر باشد، سیال حفاری با سرعت بیشتری می تواند وارد خلل و فرج سنگ مخزن شده و در نهایت تا عمق بیشتری در مخزن نفوذ کرده و فضای دست نخورده بیشتری را تحت تأثیر قرار می دهد. در این حالت است که پدیده Fine Migration بوجود آمده و سبب رسوب ذرات بیشتری در مخزن و محیط متخلخل گشته و در نهایت می تواند آسیب بیشتری بوجود آورد. یعنی شرایط به گونه ای می شود که اختلاف فشار گل حفاری و سیال مخزن، تراوایی را کم و کمتر می کند.

دبی سیال تزریقی که نشان دهنده حجم این سیال در واحد زمان است، با افزایش این پارامتر در مدت زمان یکسان، مقدار بیشتری از سیال تزریقی وارد سازند شده، و لذا شرایط تعادلی فضای بیشتری را بر هم زده و میزان رسوب و در نهایت کاهش تراوایی را افزایش می دهد. در چنین شرایطی است که یک Skin مثبت به نشانه Formation Damage بوجود می آید.

نکته دیگری که باید به آن توجه کرد آن می باشد که همان طور که در شکل 4 واضح است در هنگام وقوع حساسیت آبی و کاهش شدید تراوایی اختلاف فشار به دلیل عدم وجود جریان و یا کاهش شدید آن در محیط متخلخل - توجه کنید که تراوایی به شدت کم شده و از سهولت جریان کم می شود. - زیاد و زیادتیر می شود و این نکته ای است که از این اختلاف فشار شدید و ناگهانی می توان فهمید که جریان کم و آسیب سازندی ایجاد شده است.

4.2.6. اثر و رابطه پتانسیل زتا

در ابتدا باید دریافت که پتانسیل زتا چیست و ربط آن به موضوع ما چه می باشد. هرچند به دلیل جلوگیری از تفصیل و دور شدن از بحث اصلی که مدل سازی حرکت سیال حفاری در محیط متخلخل و آسیب های ناشی از آن است وارد جزئیات زیاد نمی شویم.

ذره در داخل سیال دارای بار سطحی است و همواره در اطراف سطح ذره ای که درون سیال قرار گرفته است، افزایش غلظت یون های با بار مخالف سطح ذره، دیده می شود. بنابراین یک لایه اضافی از این یون ها سطح ذره را احاطه می کند و یک لایه اضافی را در دور ذره بوجود می آورد. وقتی ذره درون سیال حرکت می کند، لایه اطراف آن نیز به همراه ذره جابجا می شوند و با ذره حرکت می کنند و می توان یک فاصله فرضی بین ذره و محیط سیال تصور کرد که این فاصله فرضی همان لایه مضاعفی است که ذره را احاطه کرده است. این فاصله را اصطلاحاً فاصله هیدرودینامیکی می نامند و پتانسیلی را که در این فاصله وجود دارد را به نام پتانسیل زتا می شناسند. در واقع پتانسیل زتا یک پارامتر برای ثبات بالقوه سیستم کلوئیدی می باشد. اگر همه ذرات داخل سوسپانسیون دارای بار منفی و یا مثبت باشند، ذرات تمایل به دفع یکدیگر دارند و تمایلی به هم انباشتگی از خود نشان نمی دهند. تمایل ذرات هم بار به دفع یکدیگر رابطه مستقیمی با پتانسیل زتا دارد. به طور کلی مرز پایداری و ناپایداری سوسپانسیون را می توان برحسب پتانسیل زتا تعیین کرد. این پتانسیل که در حد چند میلی ولت است، باعث می شود با

توجه به نوع بار و پتانسیل در حد فواصل محدود غلظت یون ها در نزدیکی ذرات بیشتر و یا کمتر از عموم وجاهای دیگر سیال باشد. مقدار عددی این پتانسیل عموماً بین 10 تا 20 میلی ولت تغییر می کند. [59]

اما چگونه پتانسیل زتا روی کلوخه شدن ذرات تأثیر می گذارد؟ کاهش پتانسیل زتا موجب کاهش اختلاف پتانسیل بین فاز پخش شده و محیط اطراف آن – که عمل اصلی دافعه ذرات معلق درون گل حفاری است. – می شود. در چنین شرایطی نیروی واندروالسی قدرت عمل پیدا کرده، می تواند موجب چسبیدن ذرات سیال حفاری به یکدیگر شود. از این پدیده در تصفیه خانه ها برای زدودن ذرات کلونیدی استفاده می کنند.

پس در حقیقت این پارامتر بر ثبات کلونیدی ذرات جامد در سیال اثر داشته و باید این مؤلفه اندازه گیری شود. لذا نکته قابل تأمل این است که با تغییر آن خطر به هم چسبیدن ذرات و انعقاد ذرات جامد وجود دارد و در نتیجه سبب رسوب کردن آن ها، و در نهایت مسدود کردن گلوگاه های حفرات محیط متخلخل و کاهش تراوایی می شود. پس بدین ترتیب است که پتانسیل زتا که با ζ نمایش داده می شود با آسیب سازندی در استفاده از گل های حفاری ارتباط برقرار می کند.

نکته دیگری که باید به آن توجه نمود این است که برای جلوگیری از پدیده Fine Migration راههای گوناگونی وجود دارد که در بخش چهارم فصل سوم در رابطه با افرادی که تحقیقاتی در این مورد انجام داده اند و روش های تئوری و یا آزمایشگاهی آنها که برای جلوگیری از این پدیده پیشنهاد داده اند، آمده است.

منابع

- [1] Brantly, J. E. (1971). *History of oil well drilling*. Gulf Pub Co.
- [2] RP13B, A. P. I. (1969). " Standard Procedure for Testing Drilling Fluids. *Am. Pet. Inst. Division of Production*.
- [3] Yan, J. N. (2001). Drilling fluid technology. *China University of Petroleum Press, Dongying*, 9-11.
- [4] Moore, P. L. (1974). Drilling practices manual.
- [5] Collins, R. E. (1976). Flow of fluids through porous materials.
- [6] Grim, R. E. (1968). Clay mineralogy. *Mc-Graw-Hill international series in the earth and planetary sciences Show all parts in this series*.
- [7] Bourgoyne Jr, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E., & Young Jr, F. S. (1991). Applied drilling engineering.
- [8] ASME Shale Shaker Committee. (2011). *Drilling fluids processing handbook*. Elsevier.
- [9] Fefer, M. (2001, January). Environmentally Friendlier Drilling Mud Base Fluids. In *Canadian International Petroleum Conference*. Petroleum Society of Canada.
- [10] Bennett, R. B. (1984). New drilling fluid technology mineral oil mud. *Journal of petroleum technology*, 36(06), 975-981.

- [11] Strong, M. W. (1939). Mud technique in Iran. *Transactions of the AIME*, 132(01), 11-21.
- [12] Pigott, R. J. S. (1941, January). Mud flow in drilling. In *Drilling and Production Practice*. American Petroleum Institute.
- [13] Eckel, J. R. (1954, January). Effect of Mud Properties on Drilling Rate. In *Drilling and Production Practice*. American Petroleum Institute.
- [14] Herrick, H. N. (1932). Flow of Drilling Mud. *Transactions of the AIME*, 98(01), 476-494.
- [15] Beck, R. W., Nuss, W. F., & Dunn, T. H. (1947, January). The Flow Properties of Drilling Muds. In *Drilling and Production Practice*. American Petroleum Institute.
- [16] Williams Jr, C. E., & Bruce, G. H. (1951). Carrying capacity of drilling muds. *Journal of Petroleum Technology*, 3(04), 111-120.
- [17] Tarvin, J. A. (1994, January). Gas rises rapidly through drilling mud. In *SPE/IADC Drilling Conference*. Society of Petroleum Engineers.
- [18] Rommetveit, R., & Olsen, T. L. (1989, January). Gas Kick Experiments in Oil-Based Drilling Muds in a Full-Scale, Inclined Research Well. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- [19] Anfinson, B. T., & Rommetveit, R. (1992, January). Sensitivity of Early Kick Detection Parameters in Full-Scale Gas Kick Experiments with Oil-and Water-Based Drilling Muds. In *SPE/IADC Drilling Conference*. Society of Petroleum Engineers.

- [20] Lynn, R. D. (1959, January). Effect of Temperature on Drilling Mud Resistivities. In *Fall Meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME*. Society of Petroleum Engineers.
- [21] Records, L. R. (1976, January). Drilling Practices That Affect Formation Damage. In *SPE Symposium on Formation Damage Control*. Society of Petroleum Engineers.
- [22] Jiao, D., & Sharma, M. M. (1996). Mud induced formation damage in fractured reservoirs. *SPE Drilling & Completion*, 11(01), 11-16.
- [23] Azizi, T., Chen, H., & Rahman, S. S. (1998, January). Management of wellbore instability & formation damage by improved drilling mud design. In *IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology*. Society of Petroleum Engineers.
- [24] Azizi, T., Jin, W., & Rahman, S. S. (1997, January). Management of formation damage by improved mud design. In *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- [25] Krilov, Z., Wojtanowicz, A. K., & Tomic, M. (1996, January). Formation damage in horizontal wells caused by polymer mud. In *SPE Formation Damage Control Symposium*. Society of Petroleum Engineers.
- [26] Ling, K., Zhang, H., Shen, Z., Ghalambor, A., Han, G., He, J., & Pei, P. (2014, February). A Comprehensive Approach to Estimate Invasion Radius of Mud Filtrate to Evaluate Formation Damage Caused by Overbalanced Drilling. In *SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control*. Society of Petroleum Engineers.

- [27] Ferguson, C. K., & Klotz, J. A. (1954). Filtration from mud during drilling. *Journal of Petroleum Technology*, 6(02), 30-43.
- [28] Prokop, C. L. (1952). Radial filtration of drilling mud. *Journal of Petroleum Technology*, 4(01), 5-10.
- [29] Williams, M. (1940). Radial filtration of drilling muds. *Transactions of the AIME*, 136(01), 57-70.
- [30] Ventresca, M. L., Betancourt, J., Castillo, J., Ciguela, S., & Azuaje, C. (1995, January). Chemical system for treating formation damage induced by inverted oil muds. In *SPE European Formation Damage Conference*. Society of Petroleum Engineers.
- [31] Habibi, A., Ahmadi, M., Pourafshary, P., & Al-Wahaibi, Y. (2012). Reduction of fines migration by nanofluids injection: an experimental study. *SPE Journal*, 18(02), 309-318.
- [32] Shaw, J. C., & Chee, T. (1996, January). Laboratory evaluation of drilling mud systems for formation damage prevention in horizontal wells. In *International Conference on Horizontal Well Technology*. Society of Petroleum Engineers.
- [33] Byrne, M. T., Spark, I. S. C., Patey, I. T. M., & Twynam, A. J. (2000, January). A laboratory drilling mud overbalance formation damage study utilising cryogenic SEM techniques. In *SPE International Symposium on Formation Damage Control*. Society of Petroleum Engineers.
- [34] Bjorndalen, H. N., Jossy, W. E., Alvarez, J. M., & Kuru, E. (2014). A laboratory investigation of the factors controlling the filtration loss when drilling with colloidal gas aphron (CGA) fluids. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 117, 1-7.

- [35] Kok, M. V. (2009, January). Experimental And Numerical Investigation Of Formation Damage Caused By Drilling Fluids. In *Offshore Mediterranean Conference and Exhibition*. Offshore Mediterranean Conference.
- [36] Vakili, B. (2012, January). Experimental Investigation of Formation Damage Reduction: Mud Cake Removal and Mud Filtration Treatment using Ultrasonic Wave Radiation. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- [37] Zhang, N. S., Somerville, J. M., & Todd, A. C. (1993, January). An experimental investigation of the formation damage caused by produced oily water injection. In *Offshore Europe*. Society of Petroleum Engineers.
- [38] Vitthal, S., Sharma, M. M., & Sepehrnoori, K. (1988, January). A one-dimensional formation damage simulator for damage due to fines migration. In *SPE Formation Damage Control Symposium*. Society of Petroleum Engineers.
- [39] Sarkar, A. K., & Sharma, M. M. (1990). Fines migration in two-phase flow. *Journal of petroleum technology*, 42(05), 646-652.
- [40] Priisholm, S., Nielsen, B. L., & Haslund, O. (1987). Fines migration, blocking, and clay swelling of potential geothermal sandstone reservoirs, Denmark. *SPE Formation Evaluation*, 2(02), 168-178.
- [41] Civan, F., & Knapp, R. M. (1987, January). Effect of clay swelling and fines migration on formation permeability. In *SPE Production Operations Symposium*. Society of Petroleum Engineers.

- [42] Mohnot, S. M. (1985). Characterization and control of fine particles involved in drilling. *Journal of Petroleum Technology*, 37(09), 1-622.
- [43] Reed, M. G. (1989, January). Formation damage prevention during drilling and completion. In *SPE Centennial Symposium at New Mexico Tech*. Society of Petroleum Engineers.
- [44] Kwan, M. Y., Cullen, M. P., Jamieson, P. R., & Fortier, R. A. (1988, January). A Study of Fines Migration Related Permeability Damage in Extracted Cold Lake Heavy Oil Cores. In *Annual Technical Meeting*. Petroleum Society of Canada.
- [45] Sharma, M. M., & Yortsos, Y. C. (1986, January). Permeability impairment due to fines migration in sandstones. In *SPE Formation Damage Control Symposium*. Society of Petroleum Engineers.
- [46] Qiu, K., Gherryo, Y., Shatwan, M., Fuller, J., & Martin, W. (2008, January). Fines Migration Evaluation In A Mature Field In Libya. In *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- [47] Bedrikovetsky, P. G., Siqueira, F. D., Furtado, C. J. A., & Serra de Souza, A. L. (2010, January). Quantitative theory for fines migration and formation damage. In *SPE International Symposium and Exhibiton on Formation Damage Control*. Society of Petroleum Engineers.
- [48] Ohen, H. A., & Civan, F. (1991, January). Predicting skin effects due to formation damage by fines migration. In *SPE Production Operations Symposium*. Society of Petroleum Engineers.

- [49] Bour, D. L., & East, L. E. (1988, January). Expansion: anti-fluid migration technology solves south Texas fluid migration problems. In *SPE/IADC Drilling Conference*. Society of Petroleum Engineers.
- [50] Huang, T., Crews, J. B., & Willingham, J. R. (2008, January). Using nanoparticle technology to control fine migration. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. Society of Petroleum Engineers.
- [51] Arab, D., Pourafshary, P., & Ayatollahi, S. (2014, January). Mitigation of Fine Particles Migration in Deep Bed Filters Treated by a Nanofluid Slug: An Experimental Study. In *Advanced Materials Research* (Vol. 829, pp. 841-845).
- [52] Lever, A., & Dawe, R. A. (1984). WATER-SENSITIVITY AND MIGRATION OF FINES IN THE HOPEMAN SANDSTONE. *Journal of Petroleum Geology*, 7(1), 97-107.
- [53] Kia, S. F., Fogler, H. S., & Reed, M. G. (1987). Effect of pH on colloidally induced fines migration. *Journal of colloid and interface science*, 118(1), 158-168.
- [54] Leone, J. A., & Scott, E. M. (1988). Characterization and control of formation damage during waterflooding of a high-clay-content reservoir. *SPE (Society of Petroleum Engineers) Reserv. Eng.:(United States)*, 3(4).
- [55] Mungan, N. (1965). Permeability reduction through changes in pH and salinity. *Journal of Petroleum Technology*, 17(12), 1-449.

- [56] Jones Jr, F. O. (1964). Influence of chemical composition of water on clay blocking of permeability. *Journal of Petroleum Technology*, 16(04), 441-446.
- [57] Khilar, K. C., & Fogler, H. S. (1983). Water sensitivity of sandstones. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 23(01), 55-64.
- [58] Vaidya, R. N., & Fogler, H. S. (1990). Formation damage due to colloidally induced fines migration. *Colloids and surfaces*, 50, 215-229.
- [59] McNaught, A. D., & McNaught, A. D. (1997). *Compendium of chemical terminology* (Vol. 1669). Oxford: Blackwell Science.