کتابخانه

بسم الله الرحمن الرحیم

۱۳۷۱۵۵

دانشکده فنی ومهندسی
بخش مهندسی شیمی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی شیمی-
گرایش مخازن هیدروکربوری

شبیه سازی عددی و بررسی حساسیت مدل فرآیند احتراق درجا در یک مدل آزمایشگاهی نفت سنگین ایران

استاد راهنما:
دکتر امیر صرافی
استاد مشاور:
دکتر علی محبی

مؤلف:
احسان کاشانی نیا

۱۳۸۹/۳/۱۱
مرکز اطلاعات و مدارک علمی جوادا
شعبه

خرداد ۱۳۸۸

۱۳۷۱۵۵

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه : مهندسی شیمی

دانشکده : فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: آقای احسان کاشانی‌نیا

استاد راهنما: دکتر امیر صرافی

داور۱ : دکتر محمد رنجبر

داور۲: دکتر حسن هاشمی پور

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر مسعود سعید

۱۳۸۹/۳/۱۱

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

حق چاپ محفوظ و مخصوص دانشگاه است

هیچ توسعه ای جز با تلاش و ایثار در عرصه علم و صنعت ممکن نشده است، و هیچ تلاشی در راه توسعه بی اجر و مزد نمانده است. این پایان نامه ناچیز را تقدیم می کنم به کشورم، به امید اینکه همیشه آزاد، آباد و پاینده باشد.

تشکر و قدردانی

با توجه به تقویت و ارتقای نرم افزارهای مهندسی نفت در شبیه سازی و اطمینان بخش بودن نتایج آنها به دلیل جامع و دقیق بودنشان، بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی را می توان با استفاده از این نرم افزارها انجام داد و فعالیتهای آزمایشگاهی را به سمت نکات کلیدی تر هدایت کرد. این ایده موجب شد تا پایان نامه پیش رو تعریف شود. گرچه انجام چنین حرکتی در وهله اول خالی از اشکال نیست اما قدم نهادن در مسیرهای نو پیش نیاز توسعه علم است.

بی شک انجام این تحقیق جز با بردباری و تشویقهای همسرم به سرانجام نمی رسید. از این رو از وی سپاسگزارم. همچنین بر خود لازم می دانم که از اساتید محترم گروه مهندسی شیمی دانشگاه شهید باهنر کرمان، آقایان دکتر صرافی و دکتر محبی رئیس محترم بخش، به دلیل فراهم کردن زمینه و پشتیبانی همه جانبه برای اجرای این پایان نامه قدردانی نمایم.

از سوی دیگر حمایت مشفقانه آقای مهندس جباری، از فارغ التحصیلان کارشناسی ارشد مهندسی نفت دانشگاه صنعتی شریف که در آموزش و فهم هرچه بهتر این نرم افزار کمکهای شایانی به اینجانب نمودند شایسته قدردانی و تشکر است. بعلاوه از کلیه همکاران و دوستانی که در بخشهای مختلف شرکت ملی نفت ایران در جمع آوری اطلاعات مرا یاری کردند و از راهنمایی ها و نظرات خوبشان مرا بی بهره نگذاشتند نیز تشکر نمایم.

در پایان امید است تا اساتید و دانشجویان علاقمند در زمینه ازدیاد برداشت، با پیگیری و اصلاح گامی که به وسیله این پایان نامه برداشته شده است راههای روشنتری را فرارویمان باز نمایند.

احسان کاشانی نیا

چکیده

پیچیدگیهای فرآیند احتراق درجا در مخازن نفت سنگین موجب شده است تا محققان جهت بررسی این فرایند به شبیه سازی عددی نسبت به مدل سازی آزمایشگاهی گرایش بیشتری داشته باشند. از سوی دیگر توسعه نرم افزارهای شبیه سازی مخازن نفت و گاز این تمایل را افزایش داده است. این تحقیق در حقیقت شبیه سازی نرم افزاری یک مدل آزمایشگاهی لوله احتراق است که در پژوهشکده دانشگاه صنعت نفت توسط آقایان مصطفوی و خراط ساخته شده و فرآیند احتراق درجا در آن اعمال شده بود. عملیات شبیه سازی توسط نرم افزار CMG اجرا و اعتبار سنجی شده است. پارامترهای یکسان سازی در عملیات اعتبار سنجی شامل ضرایب استوکیومتری واکنشها و کمیتهای نفوذپذیری نسبی بوده اند. سپس به وسیله این مدل شبیه سازی شده توسط نرم افزار، به بررسی تغییرات تولید به روش احتراق درجا در اثر تغییر برخی پارامترها پرداخته‌شده است. به بیان دیگر با انجام آنالیز حساسیت، میزان اهمیت این تغییرات ارزیابی شده است. متغیرهای عملیاتی که در این تحقیق به آن پرداخته شده است عبارتند از: درجه پیش‌گرمایش، پیش‌گرمایش با استفاده از بخارآب، دبی هوای تزریقی، و همچنین مقایسه تزریق هوای معمولی در مقابل هوای غنی‌شده (اکسیژن با درصد بالاتر). علاوه بر آنها پارامترهای مرتبط با مخزن، چاه، سنگ و سیال نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است که به آنها پارامترهای صرفاً مطالعاتی گفته می‌شود. این پارامترها شامل نسبت نفوذپذیری افقی به عمودی، فشار اولیه مدل، ضخامت یا ارتفاع مدل و سطح ناحیه تخلیه، API و ویسکوزیته سیال در دمای اولیه مدل، درجه اشباع بحرانی گاز و درجه اشباع نفت پسماند می باشند. نتایج حاصله در این تحقیق نشان می دهد که برخی پارامترها مانند دبی هوای تزریقی و یا درصد اکسیزن در هوای تزریقی تاثیر زیادی روی این فرآیند دارند در حالیکه تاثیر پارامترهایی چون فشار اولیه مدل یا ویسکوزیته سیال در شرایط اولیه ناچیز است.

فهرست

فصل اول: مقدمه..... ۱

فصل دوم: مبانی نظری موضوع..... ۷

۲-۱ روشهای گرمایی ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین..... ۸

۲-۱-۱ احتراق درجا..... ۸

۲-۱-۲ ریزش ثقلی با استفاده از بخار آب..... ۹

۲-۲ احتراق درجا..... ۱۱

۲-۲-۱ انواع مختلف فرآیند ۱۱

۲-۲-۲ واکنشهای فرآیند..... ۱۵

۲-۲-۳ تحلیل واکنشها..... ۲۰

فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته..... ۲۴

۳-۱ پیشینه تحقیقات و مطالعات آزمایشگاهی..... ۲۵

۳-۲ پیشینه شبیه سازی عددی فرآیند احتراق درجا..... ۳۰

۳-۲-۱ مدلهای سینتیکی..... ۳۱

۳-۲-۲ مدلهای روش تحلیل گاز خروجی..... ۳۱

۳-۲-۳ مدل سینتیکی از روش آنالیز گرمایی..... ۳۲

۳-۳ پیشینه مهندسی فرآیند احتراق درجا..... ۳۵

فصل چهارم: روش و مراحل تحقیق..... ۳۹

۴-۱ مقدمه..... ۴۰

۴-۲ معرفی نرم افزار شبیه سازی فرآیندهای حرارتی STARS..... ۴۲

۴-۲-۱ خصوصیات ویژهٔ شبیه‌ساز STARS..... ۴۴

۴-۳ مکانیزم شبیه سازی در STARS ۴۸
۴-۳-۱ **معادلات بقا** ۴۸
۴-۳-۲ روابط تعادلهای فازی ۵۳
۴-۳-۳ معادلات چاهها ۵۴
۴-۳-۴ خلاصه ای از معادلات بقا ۵۶
فصل پنجم: بررسی حساسیت پارامترهای تاثیر گذار در فرآیند احتراق درجا ۵۸
۵-۱ مراحل انجام شبیه سازی ۵۹
۵-۱-۱ شبیه سازی سینتیک واکنشها ۶۰
۵-۱-۲ مدل مخزن مرجع ۶۲
۵-۱-۳ تطابق تاریخچه و اعتبار سنجی مدل ۶۵
۵-۲ اجرای اولیه برنامه و نتایج آن ۷۱
۵-۳ بررسی تاثیر متغیرهای عملیاتی ۸۰
۵-۳-۱ بررسی اثر درجه پیش‌گرمایش ۸۰
۵-۳-۲ بررسی نوع پیش‌گرمایش ۸۲
۵-۳-۳ بررسی اثر دبی هوای تزریقی ۸۴
۵-۳-۴ مقایسه تزریق هوای معمولی در مقابل هوای غنی‌شده ۸۷
۵-۴ بررسی تاثیر متغیرهای غیرعملیاتی ۸۹
۵-۴-۱ تغییرات نسبت نفوذپذیری ۸۹
۵-۴-۲ بررسی تغییرات سطح مخزن بر تولید ۹۱
۵-۴-۳ تغییرات فشاراولیه مخزن ۹۲
۵-۴-۴ اثر ضخامت لایه نفتی ۹۵
۵-۴-۵ اثر دانسیته نفت (°API) ۹۷

۵-۴-۶ اثر ویسکوزیته نفت مخزن..... ۹۹
۵-۴-۷ اثر درجهٔ اشباع بحرانی گاز..... ۱۰۱
۵-۴-۸ اثر درجهٔ اشباع نفت پسماند..... ۱۰۳
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۰۵
۶-۱ نتیجه گیری..... ۱۰۶
منابع و مآخذ..... ۱۱۰

فصل اول

مقدمه

مخازن نفت سنگین در تامین انرژی جهان در حال حاضر نقشی اساسی دارند و با توجه به محدودیت مخازن نفت سبک این نقش در آینده ای نه چندان دور بسیار مهم تر و پررنگ تر خواهد بود. با توجه به خصوصیات مخازن نفت سنگین به ویژه گرانروی بسیار بالای نفت درجای[1] آنها معمولا مکانیزمهای موجود برای بهره‌برداری از مخازن نفت سبک در مورد آنها به بهره وری چندان خوبی منتج نخواهد شد. جهت استخراج و افزایش بهره وری از اینگونه مخازن فرآیندهای گرمایی در نیمه دوم قرن گذشته مورد توجه قرار گرفته اند. با توجه به حساسیت بالای گرانروی نفت سنگین به تغییرات دمایی اینگونه روشها با ایجاد حرارت در درون مخزن و یا انتقال حرارت به مخزن گرانروی نفت را تا حد امکان پایین آورده و تولید آن را ممکن می سازند [۱] .

فرآیند احتراق درجا به عنوان نخستین فرآیند گرمایی در بسیاری از مخازن نفت سنگین دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش با سوزاندن قسمتی از نفت، انرژی مورد نیاز جهت تولید مابقی نفت درون مخزن تامین می گردد [۲]. در حالت ساده این فرآیند، دو چاه حفر می‌گردد. چاه اول که چاه تزریقی خوانده میشود جهت تزریق یک سیال حاوی اکسیژن و چاه دوم که چاه تولیدی نام دارد جهت تولید نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت ایجاد احتراق از یک جرقه ساز در چاه تزریقی استفاده می شود.

مخازن نفت سنگین و ماسه نفتها[2] منابع بسیار عظیم و قابل توجهی از نفت در جای جهان هستند. میزان نفت سنگین درجا در حال حاضر سه برابر نفت سبک در جای جهان است. در حال حاضر، بطور مثال، یک چهارم تولید نفت در کانادا از مخازن نفت سنگین صورت می گیرد. مثلاً استان آلبرتا[3] در کانادا به تنهایی دو تریلیون بشکه نفت سنگین در جا دارد. آمریکا و ونزوئلا هم میزان قابل توجهی از مخازن نفت سنگین جهان را در اختیار دارند.

---

[1] ***Oil in place***

[2] ***Oil sands***

[3] ***Alberta***

مقادیر زیادی از نفتهای سنگین هم در سایر نقاط دنیا نظیر اروپا، آسیا و خاورمیانه موجود است. جدول ۱-۱ میزان ذخیره نفت سنگین در برخی نقاط مختلف دنیا را نشان می دهد.

در ایران نیز چندین مخزن عظیم نفت سنگین وجود دارد. متأسفانه تاکنون تعداد زیادی ازاین مخازن نه تنها مورد بهره برداری قرار نگرفته اند، بلکه حتی مطالعهٔ جامعی نیز بر روی آنها انجام نشده است. از بین این مخازن می توان به مخزن کوه مند و سروش اشاره کرد. مخزن سروش در لایهٔ زیرین خود حاوی نفت سنگین است و هم اکنون در حال بهره برداری است. میدان نفتی کوه مند هم در حال مطالعه توسط مدیریت پژوهش و توسعهٔ شرکت ملی نفت ایران است. روشهای بهره برداری زیادی برای این میدان مورد مطالعه قرار گرفته است اما هیچ کدام از روشها تاکنون برای استفادهٔ توسعه ای قطعی نشده است. در این میان، روشهای ازدیاد برداشت گرمایی به عنوان یکی از انواع مهم روشهای ازدیاد برداشت مورد بررسی و تحقیق گسترده قرار گرفته است. این حرارت می تواند از طریق بخار، آب داغ و یا گاز داغ منتقل شود و همچنین می تواند در درون مخزن تولید شود. از روشهای حرارتی بیشتر جهت افزایش تولید از مخازن نفت سنگین استفاده می شود. علت این انتخاب وابستگی بسیار زیاد ویسکوزیته نفت سنگین به گرماست. با انتقال گرما ویسکوزیته نفت سنگین به شدت کاهش می یابد و تولید آن بسیار آسانتر می شود.

اگرچه تولید نفت سنگین به روشهای به اصطلاح سرد[1] هم، در حال حاضر توجه زیادی را بخود جلب کرده است، اما کماکان استفاده از روشهای گرمایی مهمترین فرآیند تولید از مخازن نفت سنگین به شمار می رود.

[1] ***Cold production***

جدول ۱-۱: میزان ذخیره نفت سنگین در نقاط مختلف دنیا[۳]

COUNTRIES	HEAVY OIL RESERVES (MMM barrels)
Canada	30
Venezuela	2000
U.S.A	57
Russia	640
China	40
---------	TAR SAND RESERVES (MMM barrels)
Canada	1670
U.S.A	20

مطالعات اکتشاف نفت سنگین در ایران بصورت رسمی از سال ۱۹۸۴ آغاز شد. در آن زمان نخستین چاه اکتشافی در عمق ۱۴۵۰m در تاقدیس کوه مند تکمیل شد. به جز میدان کوه مند، چند میدان نفت سنگین دیگر نیز نظیر زاغه، پایدار و پایدار غرب هم کشف شده اند. تمام این اکتشافات در جنوب غربی ایران انجام شده اند.

میدان کوه مند یک طاقدیس عظیم در جهت شمال غربی- جنوب شرقی است که ۹۰km طول و ۱۶km عرض دارد. این میدان در جنوب شرقی بوشهر در کنارهٔ خلیج فارس واقع است. ساختار این مخزن نسبتاً متقارن است و صفحه محوری آن توسط تعداد زیادی گسل قطع شده است. مخزن کوه مند برای نخستین بار در سال ۱۹۳۱ کشف شد و مطالعات اکتشافی رسمی آن در سال ۱۹۸۴ آغاز گشت.

مخزن زاغه دارای یک ساختار طاقدیسی است که در جنوب غربی ایران در کنار بندر دیلم واقع است. میدان زاغه در سال ۱۹۷۸ کشف شد و نفت آن در سازند پابده[1] تولید شد. فشار مخزن بصورت غیر متعارفی بالاست و تا حدود ۴۸/۳bar بیشتر از فشار مشاهده شده در میادین همسایه آن است. علاوه بر آن سازند پابده عمدتاً از رس و سنگ آهک تشکیل شده است که دارای پتانسیل چندانی برای تولید نفت نیستند. به هر حال به علت وجود حرکات تکتونیکی نظیر لایه بندی و گسلها ممکن است شبکه ای با تراوایی بالا در سازندهای

[1] *Eocene*

شیلی[1] موجود باشد. ضمناً نفت در ابتدا در قسمت عمیق تر بنگستان وجود داشته که به بالا مهاجرت کرده و در شکافهای زیاد سازنده پابده تجمع کرده و موجب ایجاد فشار بالا شده است.

پایدار یک طاقدیس در جهت شمال شرقی- جنوب غربی است که مساحت آن تقریباً ۲۸ کیلومتر در ۸ کیلومتر است که در جنوب غربی جلگهٔ دزفول، در ۱۱۰ کیلومتری جنوب غربی اهواز قرار دارد. اولین چاه اکتشافی این میدان، py-1، در عمق ۴۰۸۹ متر در سازند سروک تکمیل شد و آزمایشهای زیادی در سازندهای آسماری، گورپی، ایلام و سروک انجام شد. از آنجا که هیچ کدام از آزمایشها منجر به تولید تجاری نفت نشدند، دکل حفاری در ژانویه ۱۹۷۴ چاه را ترک کرد. چاه مجدداً در سال ۱۹۷۷ مورد بهره‌برداری قرار گرفت و تنها سازند آسماری میزان قابل توجهی نفت ۱۷/۹ API° تولید کرد.

پایدار غرب یک طاقدیس در جهت شمال غربی- جنوب شرقی است که حدوداً ۳۰ کیلومتر طول دارد و بین ۷ تا ۱۰ کیلومتر عرض آن است و بسیار نزدیک به میدان پایدار است. این میدان در سال ۱۹۷۸ کشف شده است و نفت سنگین بدست آمده از سازند آسماری و سروک این میدان مورد آزمایش قرار گرفته است. سازند آسماری حدود ۳۲۰ متر ضخامت دارد و بخش بالایی آن متشکل از سنگ آهک و دولومیت و بخش پایینی آن ماسه سنگ است. بخش بالایی حاوی نفت آن حدود ۷۶m عرض دارد و بیشتر از سنگ کربناته با نفوذپذیری کم تشکیل شده است. سازند سروک بیشتر از سنگ آهک تشکیل شده و البته میزان کمی دولومیت و رس و یا کربناتهای سیلتی دارد. درجهٔ API نفت آسماری در حدود ۱۷/۹ و نفت سروک حدود ۲۱/۴ است. بررسی های اولیه نشان داده که میزان نفت در جای این دو سازند قابل توجه است.

[1] *Shale*

میدان نفتی سروش یک میدان دریایی واقع در شمال خلیج فارس است. این میدان هم اکنون در حال تولید با فشار اولیه است. این میدان هشت لایهٔ مختلف دارد و چگالی نفت موجود در آن از بالا به پایین افزایش می یابد.

شبیه سازی فرآیندهای گرمایی بصورت آزمایشگاهی، عددی و همچنین تحلیلی بسیار پیچیده می باشد. در این تحقیق شبیه سازی عددی این فرآیند با نرم افزار انجام شده است و پس از تعیین ساختار کامل مدل، محاسبات لازم در مدلسازی انجام شده و نتایج مدل با نتایج آزمایشگاهی اعتبار سنجی گردیده است. سپس حساسیت مدل نسبت به پارامتر های مختلف از قبیل سرعت تزریق درصد اکسیژن و دبی هوای تزریقی و برخی دیگر از پارامترهای عملیاتی و غیر عملیاتی مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که مدل آزمایشگاهی شبیه سازی شده از نمونه های سنگ و سیال مشابه مخازن نفت سنگین ایران ساخته شده است، و بازه های تغییرات مولفه های مورد تحقیق با توجه به مشخصات مخازن نفت سنگین ایران انتخاب شده اند، لذا نتایج آنالیز حساسیت در این تحقیق می تواند در مطالعات ازدیاد برداشت مخازن نفت سنگین ایران مورد استفاده قرار گیرد.

فصل دوم

مبانی نظری موضوع

۲-۱ روشهای گرمایی ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین

روشهایی که برای تولید نفت سبک بکار می‌روند، در مخازن نفت سنگین چندان توأم با موفقیت نیستند. تاکنون روشهای گرمایی متفاوتی نظیر تزریق بخار، تزریق گردش بخار، احتراق درجا و ریزش ثقلی با استفاده از بخار در میادین نفت سنگین مورد استفاده قرار گرفته اند. در این میان روشهای گرمایی نظیر ریزش ثقلی با استفاده از بخار[1] و احتراق درجا[2] بیشتر از روشهای معمول دیگر در مورد مخازن نفت سنگین بکار گرفته می شوند. فرآیندهای گرمایی از انرژی حرارتی به گونه های مختلف بهره می جویند. هدف اول این روشها افزایش دمای مخزن و در پی آن کاهش ویسکوزیته نفت و هدف دوم آنها جابجا کردن نفت به سمت چاه تولیدی است.

۲-۱-۱ احتراق درجا

لغت انگلیسی احتراق درجا، In-Situ Combustion متشکل از دو کلمه In-Situ و Combustion است که In-Situ در زبان لاتین به معنای درجا و Combustion به معنای احتراق است. بدین ترتیب In-situ Combustion به معنی احتراقی است که در درون مخزن صورت می گیرد. در این فرآیند هوا و یا هوای غنی شده و یا حتی گاهی اکسیژن خالص از طریق چاه تزریقی به قسمتی از مخزن تزریق می شود و بخشی از نفت مخزن می سوزد تا انرژی لازم را برای تولید باقیمانده نفت تامین کند. در این فرآیند معمولاً جرقهٔ احتراق بوسیلهٔ جرقه سازهای الکتریکی در حفره باز[3] چاه ایجاد می گردد.

توسعهٔ این روش ازدیاد برداشت به عنوان یک روش گرمایی به سال۱۹۴۷ باز می گردد.

---

[1] *Steam Assisted Gravity Drainage(SAGDE)*

[2] *In-Situ Combustion(ISC)*

[3] *Open hole*

آزمایش این روش بر روی میادین نفتی نخستین بار در سال ۱۹۵۸ انجام شد و اولین تجربهٔ موفق و تجاری تولید نفت توسط روش احتراق درجا در سال ۱۹۵۹ صورت گرفت[۳].

مزایای این روش نسبت به سایر روشهای گرمایی از آن جهت است که در این روش گرما در درون مخزن تولید می شود و لذا اتلاف انرژی گرمایی کم است. این مزیت امکان استفاده از روش احتراق درجا را در مخازن عمیق فراهم می کند. در مخازن عمیق استفاده از روشهایی نظیر تزریق بخار با مشکلات اتلاف گرما مواجه می شود چرا که بخار داغ در سطح تولید و توسط لوله به دهانهٔ چاه هدایت می گردد. از سوی دیگر روش احتراق درجا قابلیت تولید میزان زیادی از انرژی را دارد و دمای احتراق تا حد زیادی افزایش می یابد.

در کنار این مزایا، فرآیند احتراق درجا معایبی نیز دارد که مهمترین آنها مشکلات ایمنی به دلیل تزریق هوا با فشار بسیار بالا است. به علاوه مشکلات خوردگی هم در مخازن حاوی نفت سنگین، به علت وجود گوگرد زیاد وجود دارد. از دیگر محدودیتهای موجود در مورد این فرآیند لزوم وجود کمپرسور کاملاً مطمئن و کارا است. اگر در حین کار کمپرسور خاموش شود کل فرآیند به علت قطع اکسیژن مورد نیاز با شکست مواجه می شود[۳].

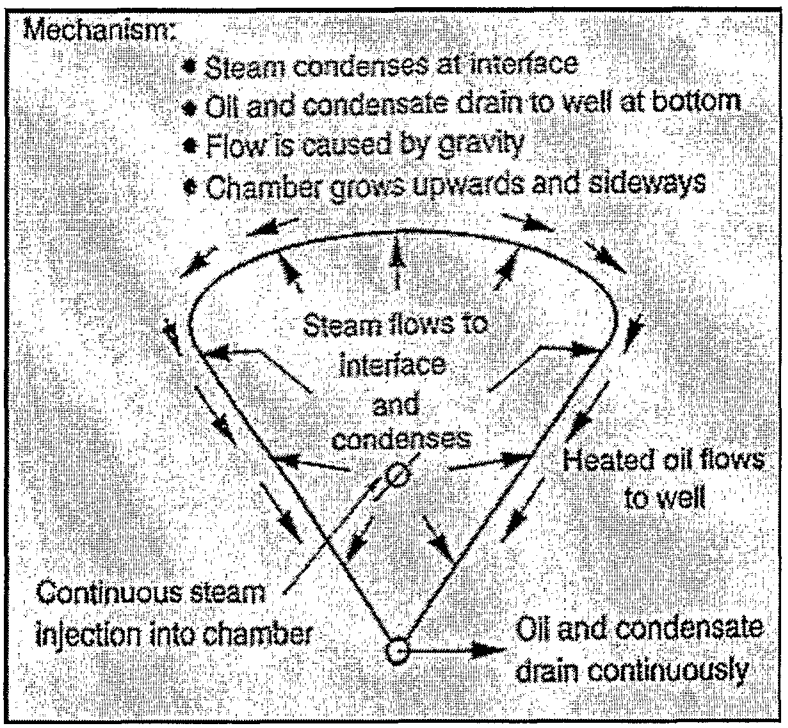
۲-۱-۲ ریزش ثقلی با استفاده از بخار آب

در سال ۱۹۸۱، Butler [۴] یک روش جدید ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین ارائه نمود که ریزش ثقلی با استفاده از بخار آب نامیده می شود. در این فرآیند، بخار آب در یک چاه افقی و یا دو چاه عمودی که در بالای چاه افقی تولیدی قرار گرفته اند تزریق می‌شود. بدین ترتیب یک ناحیهٔ اشباع از بخار آب تشکیل می شود.

گرمای بخار بصورت هدایت[1] به مخزن انتقال می یابد. آب تشکیل شده و نفت گرم شده به چاه تولیدی جریان می یابد. هر چه نفت تولید می شود توده بخار گسترش می یابد. این

[1] ***Conduction***

گسترش هم بصورت عمودی و هم بصورت افقی است. گسترش تودهٔ بخار به سمت بالا بسیار سریع و البته نامنظم اتفاق می افتد. این گسترش تا زمانی ادامه می یابد که بخار به بالای مخزن برسد. در مقایسه، گسترش توده به اطراف و پایین بصورت بسیار پایداری انجام می شود و این پایداری توسط گرانش حاصل می شود. مرحلهٔ بعدی فرآیند، که از هنگام رسیدن بخار به بالای مخزن آغاز می‌شود، پخش شدن آن به اطراف است. اگر چاه تولیدی بصورت عمودی حفر شود فرآیند چندان موفق نخواهد بود چرا که جریان کمی به آن انتقال می یابد. در حالیکه با حفر یک چاه افقی به عنوان چاه تولیدی، نفت بصورت اقتصادی و به صرفه تولید می شود. شکل۲-۱ فرآیند ریزش ثقلی با استفاده از بخار آب را نشان می دهد.



شکل۲-۱: دیاگرام مفهومی فرآیند ریزش ثقلی با استفاده از بخار آب [۳]

۲-۲ احتراق درجا

۲-۲-۱ انواع مختلف فرآیند

فرآیند احتراق درجا معمولاً در سه شکل پیشرو خشک[۱]، احتراق مرطوب[۲] و احتراق معکوس[۳] انجام می پذیرد.

در فرآیند احتراق خشک هیچ آبی همراه با هوا تزریق نمی‌شود. در این فرآیند ابتدا سیال حاوی اکسیژن (معمولاً هوا) از طریق چاه تزریقی به درون مخزن فرستاده می‌شود و جرقه ساز در دهانه چاه ایجاد جرقه می کند. جبههٔ احتراق تشکیل می شود و به سمت چاه تولیدی حرکت می کند. نفت هم همزمان در چاه تولیدی تولید می شود. در این فرآیند گرما هم از طریق همرفتی و هم از طریق هدایت گرمایی منتقل می شود.

شکل۲-۲ پروفایل اشباع نفت و دمای مخزن را در طول فرآیند احتراق خشک نشان می دهد. همانگونه که در شکل مشخص شده است ناحیهٔ پشت جبههٔ احتراق قسمت داغ مخزن است. حداکثر دما در جبهه احتراق بوده و دمای مخزن از جبههٔ احتراق به سمت چاه تولیدی کاهش می یابد.

---

[1] *Dry foreward*

[2] *Wet Combustion*

[3] *Reverse Combustion*