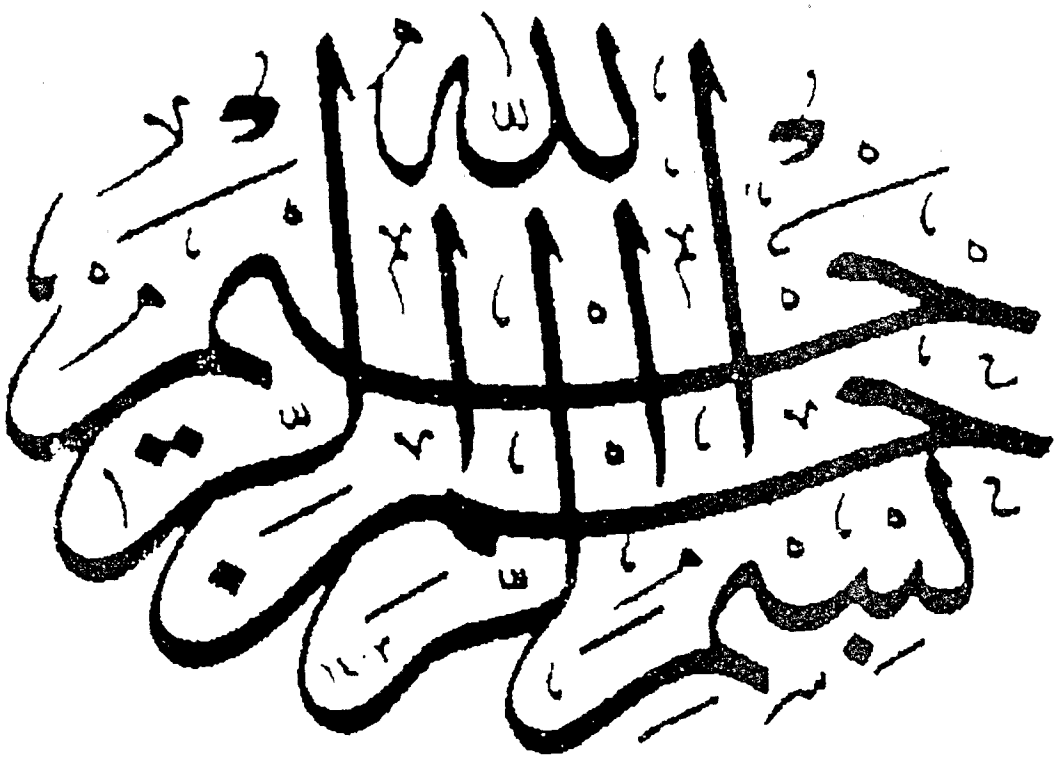
بسم الله الرحمن الرحيم

١١١٨٥٨

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه علوم و فنون مازندران

رساله کارشناسی ارشد

تزریق گاز جهت ازدیاد برداشت از مخازن نفتی

استاد راهنما : دکتر فریبرز رشیدی

استاد مشاور : مهندس یعقوب روحانی

دانشجو : محمدعلی شفیعی سیف آبادی

۱۳۸۸/۱۲/۰۵

شهریور ماه ۱۳۸۰

۱۱۱۸۵۸

تقدیم به همسرم محبوبه و دخترم سارا

تقدیر و تشکر :

لازم می دانم از استاد گرامی جناب آقای دکتر رشیدی که در طول انجام پروژه از راهنمائی و مساعدت بی شائبه ایشان، با توجه به کمبود وقت و مشغله زیادایشان برخوردار بوده ام تقدیر و تشکر نمایم و همچنین از برادر گرامی جناب آقای مهندس روحانی که مساعدت و راهنمائی زیادی را در طول انجام پروژه به عهده گرفتند قدردانی نمایم.

از همه اساتید محترمی که با توجه به مشغله فراوانشان زحمت کشیدند و داوری این رساله را به عهده گرفتند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

در خاتمه ضمن تشکر از همسر عزیزم که با دلگرمی های زیاد اینجانب را تشویق و مرا در انجام پروژه یاری نمودند و در این راه زحمات و مشقات بسیار زیادی را متقبل شدند قدردانی نمایم و موفقیت و سربلندی روزافزون را از خداوند تبارک و تعالی برای ایشان خواستارم.

چکیده

هدف از این مطالعه پیش بینی رفتار فازی سیالات مخزن و ارائه یک مدل ترمودینامیکی جهت بررسی شرایط امتزاج با گاز تزریقی با استفاده از معادلات حالت (ازجمله Peng-Robinson) بوده است.

جهت انطباق نتایج بدست آمده از معادله حالت استفاده شده با نتایج آزمایشگاهی PVT، برخی از پارامترها تنظیم و تصحیح گردند. ازجمله این پارامترها می توان به تقسیم C_7^+ به شبه ترکیبات مختلف، فشار، دما و ضریب آسنتریک هریک از این شبه ترکیبات، ضرائب انتراکسیون هیدروکربن ـ هیدروکربن و حجم انتقال اشاره نمود.

درنهایت یک مدل ترمودینامیکی جهت تعیین چگونگی شرایط امتزاج گاز در مخزن ارائه گردیده است. پس از تنظیم کلیه پارامترها و رسیدن به رفتار فازی مناسب سیال مخزن با توجه به نتایج PVT، از مدل ترمودینامیکی ارائه شده جهت تعیین شرایط امتزاج در یک میدان نفتی کشورمان استفاده گردید. با توجه به اینکه مخزن مزبور از سال ۱۹۹۵ تحت مطالعه یک شرکت خارجی قرار داشت نتایج این مدل با نتایج شرکت مزبور مقایسه گردید که از همخوانی بسیار نزدیکی برخوردار بوده است. بنابراین می‌توان ادعا کرد که مدل مزبور توانائی بررسی کلیه شرایط امتزاج مثل فشار، درجه حرارت، نوع گاز و..... را دارا می باشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار	۱
فصل اول : مفاهیم اولیه در روشهای بازیافت نفت	
۱ـ۱ـ چگونگی پیدایش نفت	۵
۱ـ۲ـ مراحل مختلف بازیافت نفت	۶
۱ـ۲ـ۱ـ بازیافت اولیه	۶
۱ـ۲ـ۲ـ بازیافت ثانویه	۸
۱ـ۲ـ۳ـ بازیافت ثالثیه	۹
۱ـ۳ـ۴ـ بازیافت پیشرفته نفت	۱۰
۱ـ۳ـ جابجائی نفت یاسیال تزریقی ـ دلایل عدم بازیافت کامل	۱۰
۱ـ۳ـ۱ـ مقیاس بلاک های اولیه	۱۱
۱ـ۳ـ۲ـ مقیاس جریان لوله ای	۲۳
۱ـ۳ـ۳ـ مقیاس مخزن	۲۳
۱ـ۴ـ چگونگی بهبود بخشیدن عوامل موثر در بازیافت نفت	۳۹
۱ـ۴ـ۱ـ جابجائی نفت در یک بلاک ابتدائی	۳۹
۱ـ۴ـ۲ـ ناحیه انتقال درجریان لوله ای	۴۱
۱ـ۴ـ۳ـ بازدهی جاروئی در مقیاس مخزن	۴۱
۱ـ۴ـ۴ـ اصول اساسی روشهای پیشرفته بازیافت نفت	۴۲

فصل دوم : روشهای ترمودینامیکی ـ معادلات حالت

مقدمه ۴۶

۱ـ۲ـ روابط ترمودینامیکی پایه ۴۶

۲ـ۲ـ معادله حالت ۴۶

۱ـ۲ـ۲ـ پارامترهای جزء خالص ـ قانون حالتهای متناظر ۴۸

۲ـ۲ـ۲ـ قوانین اختلاط ۴۹

۳ـ۲ـ۲ـ مثالهائی از معادلات حالت ۵۳

فصل سوم : بررسی و بکارگیری جدیدترین روشها درتنظیم پارامترهای حالت

۱ـ۳ـ ضریب انتراکسیون ۶۰

۱ـ۱ـ۳ـ ضریب انتراکسیون هیدروکربن ـ هیدروکربن ۶۲

۲ـ۳ـ روش حجم انتقال ۶۵

۳ـ۳ـ مدل ترمودینامیکی ترکیبات سنگین نفت خام ۶۸

۱ـ۳ـ۳ـ انتخاب شبه ترکیبات ۶۸

۲ـ۳ـ۳ـ خواص شبه ترکیبات ۶۹

فصل چهارم : سیلاب زنی امتزاجی

سیلاب زنی امتزاجی ۷۴

۱ـ۴ـ رانش گاز بخارکننده ۷۵

۱ـ۱ـ۴ـ نمایش مکانیسم با نمودار مثلثی ۷۵

۲ـ۱ـ۴ـ حداقل فشار امتزاج ۷۷

۲ـ۴ـ رانش گاز مایع شونده ۸۲
۱ـ۲ـ۴ـ نمایش مکانیسم با نمودار مثلثی ۸۲
۳ـ۴ـ مکانیسم رانش ترکیبی ۸۷

فصل پنجم : شبیه سازی ترمودینامیکی یک مخزن نفتی نمونه

مقدمه ۹۲
۱ـ۵ـ مدل های ترمودینامیکی ارائه شده در تغییر حداقل فشار امتزاج ۹۳
۱ـ۱ـ۵ـ امتزاج تماس اول ۹۳
۲ـ۱ـ۵ـ رانش گاز تبخیرکننده و مدل ترمودینامیکی آن ۹۵
۳ـ۱ـ۵ـ رانش گاز مایع شونده و مدل ترمودینامیکی آن ۹۶
۲ـ۵ـ تنظیم پارامترهای لازم جهت انطباق رفتارترمودینامیکی
سیال با نتایج آزمایشگاهی PVT ۹۹
۳ـ۵ـ راندن مدلهای ترمودینامیکی ارائه شده بر روی یک مخزن نفتی نمونه .. ۹۹

نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۸
مراجع ۱۱۹

فهرست علائم

انرژی هلمهولتز	A
ضرائب معادله حالت	a,b
ضریب انحنای سطح ـ غلظت مولی	c
فوگاسیته	f
نسبت گاز به نفت	GOR
شتاب جاذبه	g
تراوائی نسبی	K
تراوائی مطلق	k
نسبت حرکت پذیری	M
جرم مولکولی	M_w
عدد موئینگی	N_c
تعداد فازها یا اجزاء	n
فشار	P
فشار موئینگی	P_c
ثابت گازها	R
درجه اشباع	S
وزن مخصوص	S_g
اشباع سیال باقیمانده	S_R
درجه حرارت	T
دمای بحرانی	T_c

انرژی داخلی	u
سرعت دارسی	v
کسر مولی	x

حروف یونانی

ضریب معادله حالت ـ زاویه شیب	α
چگالی	ρ
حرکت پذیری سیال	λ
ویسکوزیته مطلق ـ پتانسیل شیمیائی	μ
نیروی کشش سطحی	σ
تخلخل	ϕ
ضریب استریک	ω
ضرائب ثابت معادله	γ,δ

علائم زیرنویس

حالت بحرانی	c
سیال جابجا کننده	d
معادله حالت	Eos
سیال مخزن	f
فاز گاز	g

شماره فاز یا جزء	i,j
مخلوط	m
فاز نفت	o
پارامتر کاهش یافته	r
شرایط استاندارد	stc
انتقال	trans
فاز آب	w

علائم بالا نویس

مقدار پارامتر جزء خالص	$\wedge$
دما و فشار مبنا	$\circ$
پارامتر انتقال	t

پیشگفتار

بدون شک نفت و گاز هنوز مهمترین منابع انرژی جهان بوده و از آنجائی که تقریبا" تمامی تکنولوژی جهان برپایه مصرف این ذخایر بعنوان انرژی می باشند تا سالیان متمادی آینده نیز استفاده از آنها متداول خواهد بود. از اینرو تولید و مصرف بهینه مخازن نفت و گاز به علت محدود بودن این منابع باید مورد توجه همگان و بویژه تولید کنندگان آن باشد. روش ازدیاد برداشت از مخازن نفت با استفاده از تزریق گاز طبیعی یا گازهای دیگر از جمله گازکربنیک، یکی از موثرترین و اقتصادی ترین روشهای ازدیاد برداشت از مخازن نفت سبک بخصوص مخازن سنگهای آهکی ضخیم نظیر اکثر مخازن نفتی ایران است، گاز تزریق شده می تواند برحسب شرایط تزریق، خواص نفت مخزن، خواص گاز تزریقی وعوامل زیرزمینی مخزن نفت موجود را بصورت امتزاجی و یا غیرامتزاجی جابجا نماید و میزان بازدهی را بالا ببرد. مهمترین عوامل تعیین کننده مکانیسم افزایش بازدهی، فشار و درجه حرارت مخزن، ترکیبات شیمیائی نفت و گاز تزریقی می باشد.

در بسیاری از موارد (مراحل اولیه و ثانویه تولید نفت) تزریق گاز به منظور نگهداری فشار مخزن و جلوگیری از افت سریع آن که باعث هدر رفتن توان طبیعی جابجا شده نفت و درنتیجه کاهش فشار می شود انجام می گیرد.

در مرحله ثالثیه تولید نفت، گاز تزریقی صرفا" به منظور پایین آوردن مقدار باقیمانده نفت در مخزن با کم کردن نیروهای مویینگی و کشش سطحی بین نفت و گاز صورت می گیرد و گاز تزریقی باید با نفت مخزن قابل امتزاج باشد. این روش با درنظرگرفتن خواص و رفتار فازی سیالات، انجام آزمایشات تعیین حداقل فشار لازم برای امتزاج گاز با نفت و تعیین شرایط تزریق جهت پایداری امتزاج پذیری و جابجائی موثر انجام می گیرد.

تولید جهانی نفت با روشهای پیشرفته در سال ۱۹۹۴ بطور متوسط معادل ۱/۹ میلیون بشکه در روز

بوده و در سال ۱۹۹۶ این مقدار به ۲/۲ میلیون بشکه رسیده است. درحال حاضر در کشورهائی مثل کانادا، ونزوئلا، چین و رومانی پروژه های عظیم برداشت نفت با روشهای EOR مورد بهره برداری قرار گرفته است.

شکلهای (i) و (ii) اهمیت پروژه های EOR را در روشهای ازدیاد برداشت در کشور آمریکا نشان می دهد.

باتوجه به اینکه فشارهای مخازن نفتی با ادامه تولید مرتبا" رو به کاهش می باشد و تولید آب و گاز اضافی می تواند موجب بروز مشکلات زیادی در صنعت نفت گردد. تولید با روشهای پیشرفته بازیافت، ناگزیر بوده و در کشور خودمان نیز سرمایه گذاری های خوبی دراین جهت انجام پذیرفته و پیش بینی می گردد که این سرمایه گذاری ها افزایش یابد.

بنابراین انجام مطالعات و بررسیهای لازم در محیط های دانشگاهی و علمی می تواند در راهگشای مشکلات آینده موثر و مفید باشد.

EOR Survey and Analysis
U.S. EOR Production

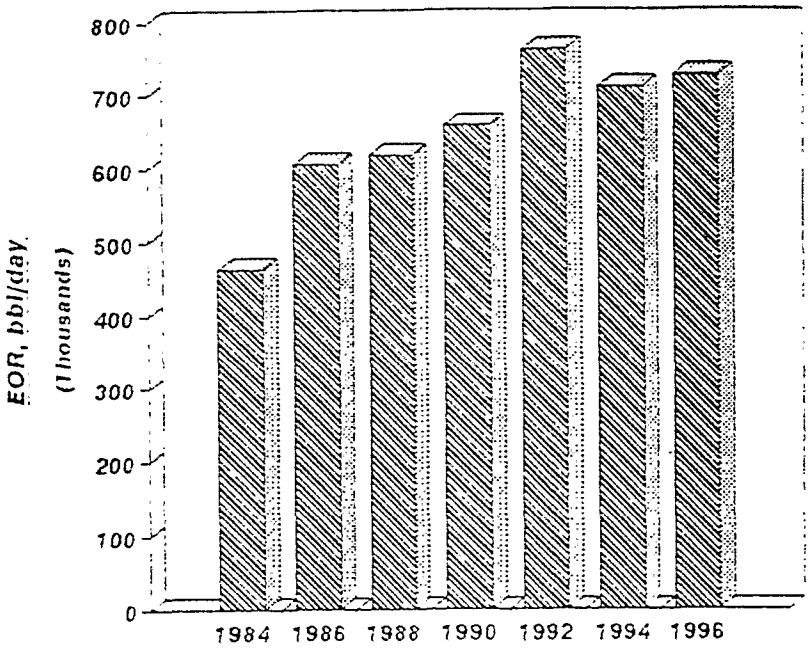

Fig. (i) U.S. EOR Production increases slightly

EOR Survey and Analysis
Gas Injection Processes, 1994

Total Gas Injection Production 709.094 bbl/day

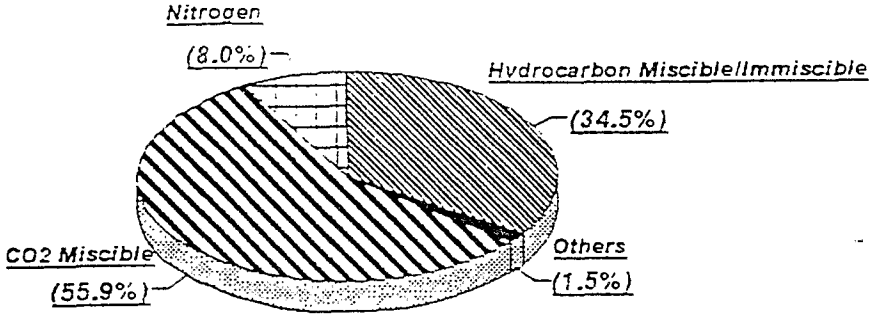

Fig. (ii) U.S. Gas injection EOR Production in 1994

فصل اول

مفاهیم اولیه در روشهای پیشرفته بازیافت نفت

۱-۱- چگونگی پیدایش نفت

مهمترین تئوری در مورد پیدایش منابع نفت و گاز تئوری آلی است و بر این فرض می باشد که هیدروکربنها از تجزیه بقایایی موجودات زنده دفن شده در زیر زمین و با گذشت زمان به این مواد تبدیل می شوند. بالا بودن فشار و درجه حرارت در اعماق پایین زمین منجر به واکنشهای متعدد شیمیائی می گردد و در شرایط مطلوب مواد ارگانیک موجود در رسوبات زیرزمین به هیدروکربن تبدیل می شوند. این هیدروکربورها در سنگی که در آن تشکیل می شوند (سنگ مادر)[۱] بصورت کاملا" پراکنده می باشند. تحت شرایط خاصی هیدرکربورهای تشکیل شده از سنگ مادر رانده می شوند که به این مرحله مهاجرت اولیه[۲] می گویند. پس از عبور از سنگهای مجاور (مهاجرت ثانویه[۳] سرانجام در سنگ مخزن تجمع پیدا کرده و تشکیل یک میدان نفتی[۴] را می دهند. مکانیسم های متعددی از جمله میزان تراکم سنگ، نفوذ پذیری و جریان هیدرودینامیک در مهاجرات اولیه و ثانویه دخالت دارند. بنظر می رسد که حداقل در آخرین مراحل از مهاجرت ثانویه جریان هیدروکربنها عمدتا" در اثرجریان هیدرودینامیک ناشی از نیروهای شناوری[۵] می باشد. این فرضیه برمبنای این واقعیت است که تقریبا" تمامی مخازن هیدروکربوری از سنگهای نفوذپذیر واقع شده و در بالای آنها یک لایه کاملا" غیرقابل نفوذ به نام پوش سنگ[۶] وجود دارد.

می توان چنین فرض کرد که هیدروکربورها بدلیل اینکه از آب سبکتر هستند با نیروهای شناور به درون مخزن رانده شده و پوش سنگ غیرقابل نفوذ از پیشرفت بیشتر آنها جلوگیری می کند. در یک مخزن

1- Mother Rock
2- Primary Migration
3- Secondary Migration
4- Oil Field
5- Buoyoncy forces
6- Caprock

نفتی نمونه (شکل ۱ـ۱) سبک ترین هیدروکربورها که گاز می باشند در بالاترین قسمت مخزن و در زیر آن هیدروکربورهای سنگین تر و در پایین قسمت مخزن نیز آب وجود دارد. به قسمتی از مخزن که کاملا" آب گرفته باشد آبده[۱] گفته می شود.

فرآیندهائی که منجر به تشکیل و تجمع هیدروکربورها درمخازن نفتی می شود عمدتا" در رسوبهای آب اشباع[۲] انجام می گیرند و فاز آب نمی تواند کاملا" بوسیله گاز یا نفت جابجا شود از این رو همواره در کلاهک گازی یا قسمت نفتی مخزن مقداری آب نیز وجود دارد که به آن اصطلاحا" آب همزاد[۳] می گویند.

۲ـ۱ـ مراحل مختلف بازیافت نفت

۱ـ۲ـ۱ـ بازیافت اولیه[۴]

با حفاری یک چاه تا عمق مخزن می توان نفت را از درون مخزن به سطح زمین بالا آورد. در بیشتر اوقات فشار مخزن از فشار هیدرواستاتیک ستون چاه بیشتر بوده و با بازکردن چاه، فشار ته ستون چاه کاهش یافته و درنتیجه نیروی رانش (اختلاف فشار) در مخزن بوجود آمده و باعث جریان نفت از مخزن به ستون چاه می گردد. هرگاه فشار مخزن درحد فشار هیدرواستاتیک ستون چاه باشد افت فشار بوجود آمده کم بوده و درنتیجه نفت در مخزن جریان پیدا نخواهد کرد. در این صورت ممکن است از سیستم پمپهای درون چاهی استفاده شود که سبب بالا رفتن فشار تحتانی و در نتیجه جریان نفت در مخزن به سمت چاه و سطح زمین می گردد.

1- Aquifer

2- Water Saturated Sediments

3- Connate Water

4- Primary Recovery

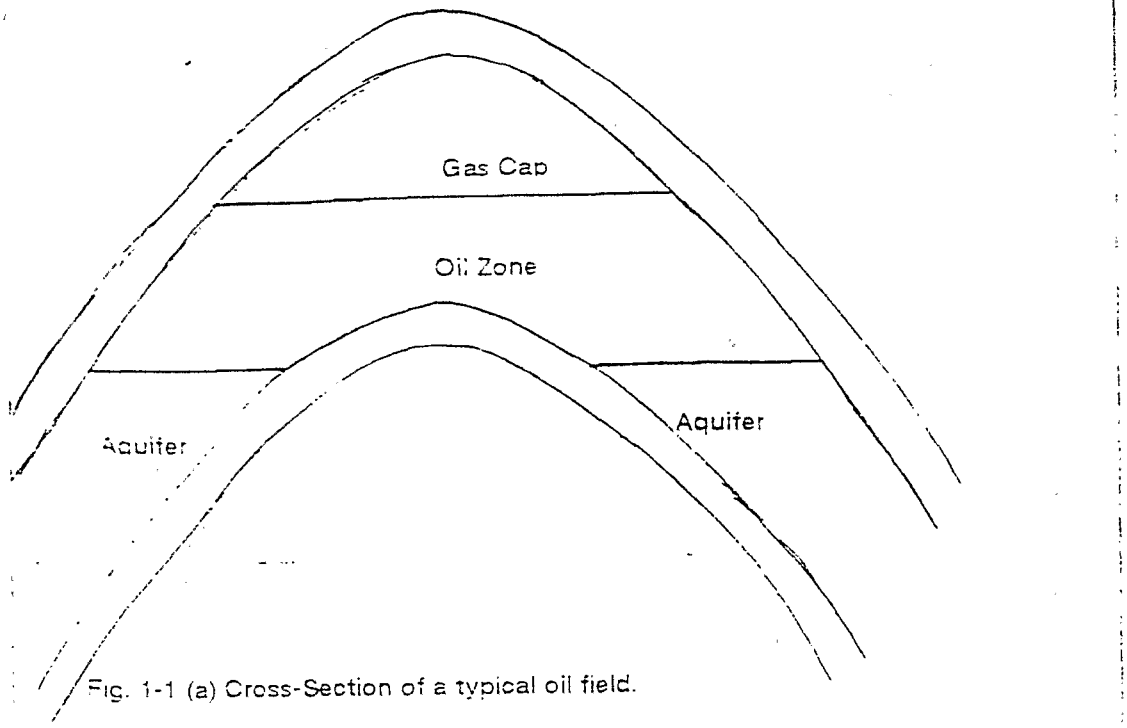

Fig. 1-1 (a) Cross-Section of a typical oil field.

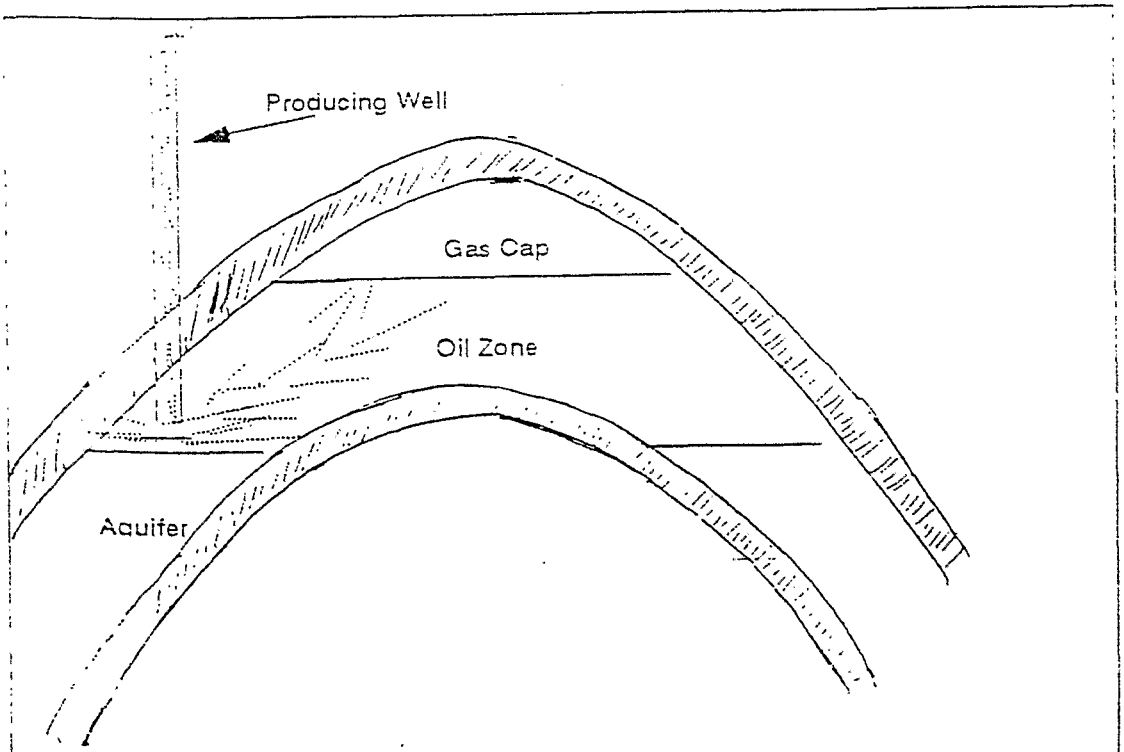

Fig. 1-1 (b) Fluids Towards a producing well.

تخلیه سیالات موجود در یک مخزن باعث انبساط سنگ مخزن و سیالات باقیمانده در آن می گردد و فشار محل مخزن همواره کاهش می یابد.

هرگاه فشار مخزن از حدی که فشار بخار نفت[1] خوانده می شود کمتر بشود هیدروکربورهای سبکتر از فاز نفت جدا و تشکیل یک فاز جدید گازی می دهند. چون ضریب تراکم پذیری این فاز بیشتر از نفت می باشد. سرعت افت فشار مخزن بسیار کاهش می یابد. این دوره از تولید را بازیافت اولیه می نامند و مشخصه آن افت فشار سریع مخزن می باشد. محدودیت تولید با این روش زمانی است که فشار مخزن آن چنان کم شده باشد که دیگر توانائی تولید نداشته و یا اینکه میزان آب و یا گاز تولیدی بیش از حد باشد. معمولا" بازیافت نفت در این روش تنها کسر کوچکی از کل مقدار نفت در جای مخزن می باشد (حدود ۱۰ درصد) و بستگی به شرایط مخزن مثل حجم اولیه گاز، نفت و آب و خواص سنگ مخزن و سیالات دارد.

۲-۲-۱- بازیافت ثانویه[2]

برای تولید بیشتر نفت فشار مخزن باید با تزریق یک سیال مناسب دیگر ثابت باقی بماند. این دوره از تولید را بازیافت ثانویه می نامند. تزریق سیالات در مخزن عملا" دو هدف مرتبط با هم دارد، یکی ثابت نگهداشتن فشار و دیگری راندن نفت مخزن به سمت چاههای تولیدی. بنابراین هرگاه سیال تولیدی از چاهها همان سیال تزریقی به مخزن باشد نگهداشتن و تثبیت فشار دیگر ضرورتی ندارد. بسته به شرایط منطقه ای چندین نوع سیال تزریقی ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. در یک مخزن نسبتا" کوچک، با تزریق آب در محدوده کناری آبده و یا تزریق گاز در مرکز کلاهک گازی می توان

1- Bubble Pressure

2- Secondary Recovery

فشار را ثابت نگه داشت. اما در مخازن بزرگ تزریق باید در چندین نقطه صورت بگیرد. در اکثر اوقات سیال تزریقی در سرتاسر مخزن پخش می شود و بنابراین مناطق کاملا" آب گرفته و یا گاز گرفته در محدوده چاههای تزریقی بوجود آمده و کم کم با جابجا کردن نفت بطر ف چاههای تولیدی گسترش می یابند. بعد از چندین سال بازیافت ثانویه سیال تزریقی به چاههای تولیدی رسیده و میزان تولید آن رو به افزایش می یابد. تا جایی که تولید بیشتر به صرفه اقتصادی نبوده و بدین ترتیب مرحله بازیافت ثانویه به پایان می رسد.

اما هنوز هم مقدار زیادی از نفت موجود در مخزن تولید نشده است. بنابراین با استفاده از روشهای بازیافت اولیه و ثانویه تنها کسری از نفت در چاه (بین ۱۵% تا ۶۰%) را می توان برداشت نمود.

۳-۲-۱- بازیافت ثالثیه[1]

هنگامیکه تا حد ممکن با روشهای بازیافت اولیه و ثانویه نفت تولید شد، برای ادامه تولید از روشهای کاملا" پیچیده تری استفاده می شود. این دوره از تولید به نام بازیافت ثالثیه نامیده می شود. برخی از این تکنیک ها برای بازیافت نفت ناحیه ای بکار می روند که قبلا" تحت تاثیر سیال جابجا کننده[2] قرار گرفته است. هدف از این عمل افزایش بازدهی جابجائی[3] می باشد. برخی از روشها نیز ممکن است در نواحی از مخزن بکار روند که قبلا" تحت تاثیر هیچ گونه سیال جابجا کننده ای قرار نگرفته باشند. هدف از این روش افزایش بازدهی جاروئی[4] می باشد. در برخی از روشهای دیگر ممکن است که هردو ضریب بازدهی جابجائی و بازدهی جاروئی زیاد شوند.

1- Tertiary Recovery
2- Displacing fluid
3- Displacement Efficiency
4- Sweep Efficiency