

## شبهه‌سازی مکانیسم ریزش ثقی در یکی از مخازن جنوبی ایران

هومن فلاح\*، افشین جان‌پولاد، محمد افخمی‌کرائی، حامد قربانی نژاد

فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزآباد

پیام نگار: hooman.fallah2@gmail.com

### چکیده

در این مقاله مکانیسم تولید ریزش ثقی را در یکی از مخازن دریایی جنوب ایران، بوسیله نرم‌افزار CMG شبهه‌سازی نموده و تأثیر فاکتورهای دخیل بر بازیافت نفت تحت این مکانیسم تولید را مورد تحلیل و بررسی قرار داده ایم. طرح ما برای مدل‌سازی مکانیسم تولید، ریزش ثقی آن است که سیال گاز را به این مخزن نفتی تزریق نماییم (جابجایی سیال نفت توسط گاز، نمایی از فرایند جابجایی ریزش ثقی است که تحت آن، اشباع سنگ مخزن از نفت (فاز ترکننده) کاهش، و اشباع گاز (فاز تر شونده)، افزایش می‌یابد). بخش (IMEX) از نرم‌افزار شبهه ساز (CMG) در شبهه‌سازی مکانیسم‌های تولید از مخازن هیدروکربنی جایی که با مدل نفت سیاه مواجه هستیم، دقت قابل قبولی را ارائه می‌دهد. از آنجا که فرایند تزریق گاز به صورت غیرامتزاجی طراحی شده و ترکیب نفت مخزن تحت فرایند تولید، ثابت می‌ماند، لذا جهت مدل‌سازی از نرم‌افزار فوق استفاده گردیده است.

در ادامه، فرایند تزریق گاز به مخزن را تحت یک بازه زمانی کنترل شده، اجرا نموده و میزان بازیافت نفت تحت این مکانیسم تولید را ثبت و آنالیز نموده ایم. برای دیدن تأثیر فاکتورهای دخیل بر مکانیسم‌های تولید (از جمله خصوصیات سنگ و سیال مخزن) هر بار با تغییر یک فاکتور و ثابت گرفتن بقیه موارد، مجدداً میزان بازیافت نفت را به دست آورده و با حالت اول مقایسه می‌نماییم. در این مقاله چهار فاکتور، اشباع اولیه سنگ مخزن از آب، نیروی ثقی، گرانیوی نفت و آرایش چاه‌های تزریق گاز، بررسی شده و جهت هر مورد یک آنالیز حساسیت به عمل آمده است که نتایج به کمک مباحث نظری جابجایی سیالات، تحلیل گردیده است. بدیهی است که آگاهی از فاکتورهای مؤثر بر تولید از مخزن تحت مکانیسم تزریق گاز، مهندسین کشورمان را در طراحی بهینه ترین روش‌های تولید، کمک رسان است.

کلمات کلیدی: ازدیاد برداشت از مخازن هیدروکربنی، تزریق گاز به مخزن، مکانیسم ریزش ثقی، اشباع اولیه سنگ

مخزن از آب، گرانیوی نفت، نیروی ثقی، الگوی چاه‌های تزریق گاز

### ۱- مقدمه

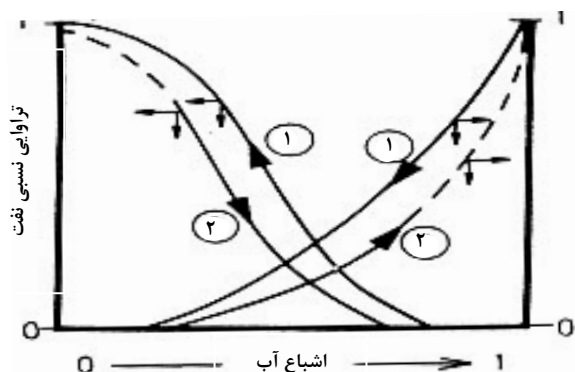
(گاز-نفت)، ترکیب گاز تزریقی و دیگر فاکتورها مورد بررسی قرار

گرفته است [۱].

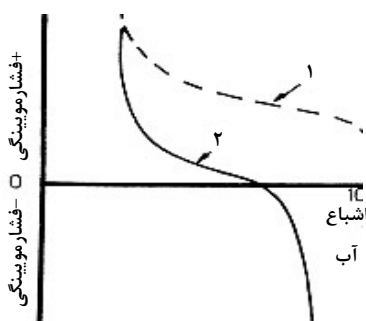
در این مقاله هدف از مدل‌سازی فرایند تزریق غیر امتزاجی گاز و یافتن میزان بازیافت نهائی نفت آن است که تأثیر برخی از ویژگی‌های سنگ و سیال مخزن و نیز تأثیر آرایش چاه‌های تزریقی

اگرچه تزریق گاز امتزاجی و غیر امتزاجی به مخازن نفتی، یکی از راهکارهای مؤثر برای افزایش ضریب برداشت نفت از مخزن محسوب می‌گردد ولی در فرایند تزریق گاز، عموماً فاکتورهای دخیل بر شرایط امتزاج‌پذیری، از جمله حداقل فشار لازم جهت امتزاج‌پذیری

افزایش می‌یابد، همین مورد در بخش ۳-۱ جهت مدل شبیه‌سازی شده مورد آزمون قرار گرفته و تحلیل شده است.



شکل ۱- نمودار نفوذپذیری نسبی



شکل ۲- نمودار فشار موئینگی

## ۲- مراحل شبیه‌سازی

پیش از هر چیز نیاز به مدلی از مخزن می‌باشد که تا حد ممکن به مقیاس حقیقی و عملیاتی نزدیکی داشته باشد، لذا از داده‌های حقیقی نفت مخزن سرورس در شبیه‌سازی استفاده شده است.

نمونه سیال مورد نظر توسط (CMG) Winprop مدل‌سازی شده و با داده‌های آزمایشگاهی از آن match گرفتیم تا به حداکثر دقت ممکن نزدیک شویم. سپس به کمک (CMG) Builder یک مدل از مخزن با سه لایه تولیدی طراحی نموده‌ایم.

### ۱-۲ داده‌های سنگ و سیال مخزن

این داده‌ها در جدول‌های (۱) تا (۳) آورده شده‌اند.

جدول ۱- خصوصیات سنگ مخزن

لایه	بالای شبکه (فوت)	ضخامت (فوت)	تراوایی (میلی داریسی)	تخلخل	اشباع نفت	اشباع آب	فشار (psi)
لایه ۱	۸۳۲۵	۲۰	۵۰۰	۰/۳	۱	۰	۴۰۱۴/۷
لایه ۲	—	۳۰	۵۰	۰/۳	۱	۰	۴۰۱۴/۷
لایه ۳	—	۵۰	۲۰۰	۰/۳	۱	۰	۴۰۱۴/۷

گاز را بر میزان تولید مخزن، آنالیز و تحلیل نماییم. فرایند جابجایی سیالات درون سنگ مخزن، افزایش اشباع فاز جابجاکننده و کاهش اشباع فاز جابجا شونده تعریف می‌شود. نیروهای زیادی در جابجایی سیالات دخیل هستند که شدت و ضعفشان وابسته به خواص سیالات، خواص سنگ، شرایط محیطی مخزن و دیگر خواص می‌باشند.

ریزش ثقلی فرایندی است که طی آن میزان اشباع سنگ مخزن از فاز تر، کاهش یافته و آشام، فرایندی است که تحت آن میزان اشباع سنگ مخزن از فاز تر افزایش می‌یابد. در یک بلوک مجزا از سنگ مخزن، فرایند تخلیه وابسته است به پارامترهایی از قبیل میزان اشباع ماتریس سنگ مخزن، درزه‌ها و شکاف‌ها و همچنین خاصیت ترشوندگی سنگ مخزن. نیروی ثقلی در فرایند ریزش ثقلی، مکانیسم اصلی می‌باشد در حالی که این نیرو در فرایند آشام، نیروی مقاوم محسوب می‌گردد [۲-۳].

نمودار نفوذپذیری نسبی در هر دو فرایند ریزش ثقلی (تخلیه) و فرایند آشام، از شیب مشابهی برخوردار است (شکل (۱)). در صورتی که نمودار فشار موئینگی برای این دو مکانیسم، اختلاف زیادی نشان می‌دهد (شکل (۲)).

ریزش ثقلی در مخزن به صورت طبیعی (انبساط کلاهک گازی مخزن) و یا به صورت مصنوعی (تزریق گاز به مخزن نفتی) صورت می‌گیرد که در هر دو، ناحیه مورد تهاجم قرار گرفته ای توسط گاز، ایجاد می‌گردد. در این ناحیه به دلیل اختلاف چگالی نفت و گاز، نفت به سمت پایین‌تر حرکت می‌کند و اشباع نفت در منطقه مورد تهاجم قرار گرفته و کاهش می‌یابد [۴-۶]. میزان بازیابی نفت در مکانیسم ریزش ثقلی در مقایسه با مکانیزم رانش گاز محلول در نفت، بسیار بیشتر است. از جمله پارامترهای مهم بر بازدهی این مکانیسم می‌توان به تراوایی مؤثر نفت، شیب لایه تولیدی مخزن، شدت جریان تولیدی نفت و گرانیوی نفت اشاره کرد (نرخ ریزش ثقلی به گرانیوی نفت بستگی داشته و با کاهش گرانیوی نفت، نرخ ریزش ثقلی

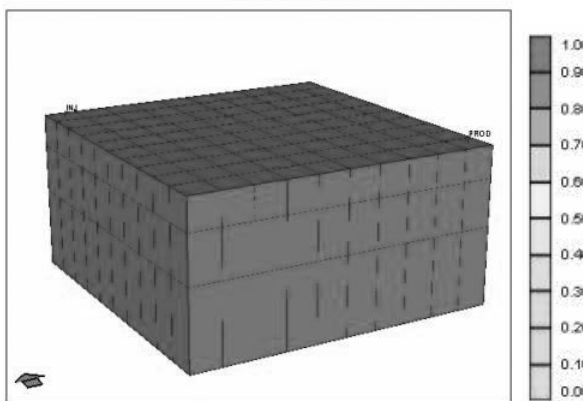
جدول ۲- خصوصیات سیال مخزن

فشار اولیه (psi)	فشار حباب (psi)	نوع نفت	گرانروی (cp)	سنگینی نفت (API)
۲۰۰۰	۱۲۰۰	سنگین	۱۰۰۰	۱۹

و آنالیز ثبت می‌نماییم.

در ادامه، کلیه پارامترها را ثابت گرفته و هر بار تنها با تغییر یک پارامتر (برای مثال گرانروی نفت)، از مدل اولیه مخزن یک اجرا گرفته و بازیافت نهایی در این حالت را با حالت اول، مقایسه می‌نماییم (شکل (۴)).

بدین ترتیب می‌توان تأثیر پارامتر تغییر یافته را بر بازیافت نهایی نفت، به درستی تحلیل و آنالیز نمود.



شکل ۴- مدل مخزن پس از گذشت ۱۲۰۰ روز تزریق گاز با شدت جریان ۱۰۰۰۰۰ فوت مکعب گاز در روز.

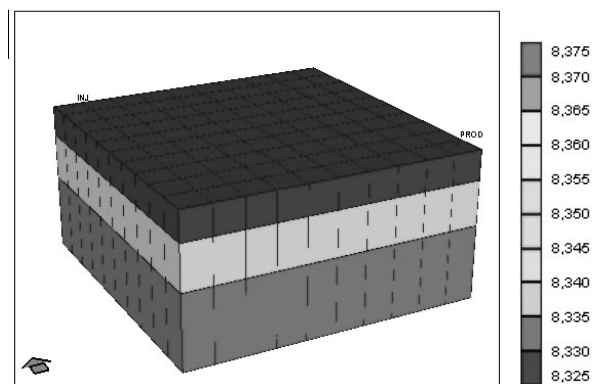
### ۳- بررسی فاکتورهای دخیل بر فرایند تولید ریزش ثقلی

#### ۳-۱ تأثیر گرانروی نفت بر بازیافت تحت فرایند تزریق گاز (ریزش ثقلی)

گرانروی سیال یکی از مهمترین فاکتورهای مؤثر در بازیافت سیال از مخزن می‌باشد. در مدل شبه‌سازی شده اولیه، گرانروی نفت هزار سانتی پواز فرض شده است. برای مطالعه تأثیر گرانروی بر مکانیسم ریزش ثقلی در اینجا گرانروی را ۵۷۵ در نظر گرفته و بازیافت نفت را تحت این شرایط با حالت اول مقایسه می‌کنیم.

جدول ۳- ترکیب سیال مخزن

درصد ترکیب	جزء
۰/۱۸۷	N2
۹/۴۷۱	C1
۵/۴۶۵	CO <sub>2</sub> +C2
۶/۸۹۳	C3
۱/۰۵۵	IC4
۲/۵۰۶	NC4
۴/۹۷۳	C6 تا NC5
۶۹/۴۵	C33 تا C7



شکل ۳- مدل شبه‌سازی شده مخزن در سه لایه تولیدی (در شکل فوق، چاه تزریق گاز و تولید نفت نیز مشخص شده است)

#### ۲-۲ مدل شبه‌سازی شده مخزن

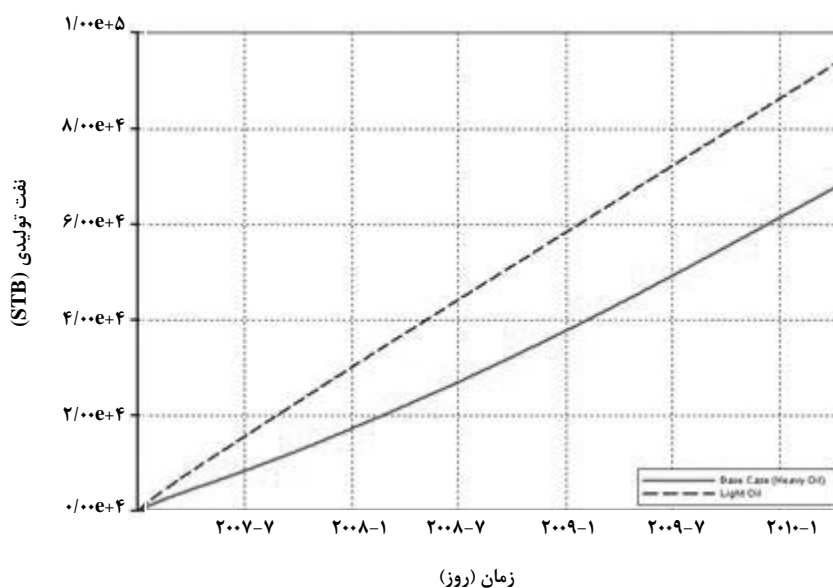
مدل شبه‌سازی شده (شکل (۳)) را به مدت کنترل شده‌ای (۱۲۰۰ روز) تحت تزریق گاز با شدت جریان ۱۰۰۰۰۰ فوت مکعب گاز در روز قرار داده و در پایان، بازیافت نهایی نفت را جهت مقایسه

کرده‌ایم.  $Swi=15$  و  $Swi=5$  و مدل اولیه یعنی  $Swi=0$ . با توجه به نمودار تولید (شکل (۶)) مشاهده می‌شود که اشباع اولیه آب تأثیری عکس بر بازیافت نفت از مخزن دارد که این امر طبق مدل (Tank model) کاملاً بدیهی است. هرچه اشباع اولیه سنگ مخزن از آب بیشتر باشد، اشباع اولیه سنگ مخزن از آب، شدیداً بر منحنی تولید نفت تأثیر می‌کند و هرچه اشباع آب مخزن بیشتر باشد، به موازات آن بازیافت نفت مخزن کاهش بیشتری خواهد داشت.

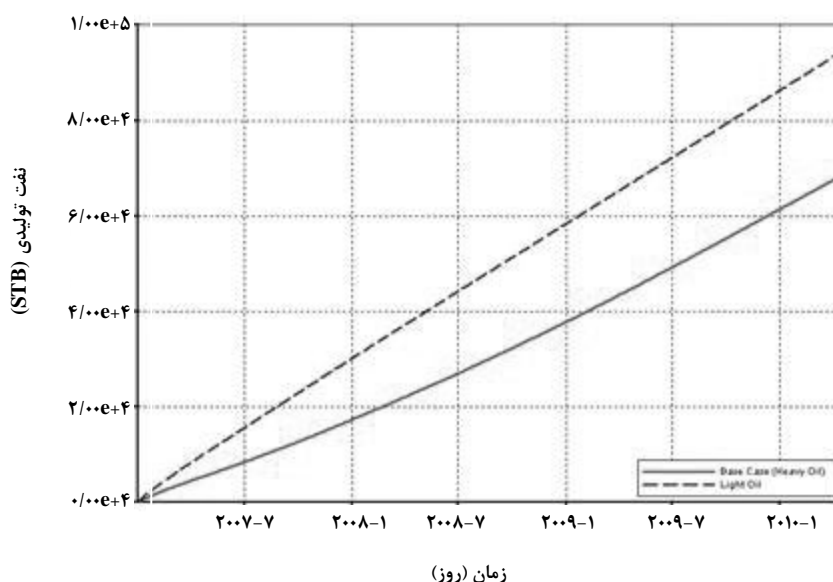
شکل (۵) بیان می‌کند که با کاهش گرانروی نفت، میزان بازیافت افزایش می‌یابد. علت این امر آن است که با کاهش گرانروی، نسبت تحرک سیال بیشتر می‌شود، در ضمن احتمال رخ دادن Fingering نیز کمتر خواهد بود [۷-۵].

### ۲-۳ تأثیر اشباع اولیه آب بر بازیافت تحت ریزش ثقلی

در اینجا میزان بازیافت را برای سه حالت مختلف زیر با هم مقایسه



شکل ۵- تأثیر گرانروی بر بازیافت نفت تحت فرایند تزریق گاز



شکل ۶- تأثیر اشباع اولیه آب بر بازیافت نفت تحت تزریق گاز

### ۳-۳ تأثیر نیروی ثقلی بر بازیافت تحت ریزش ثقلی

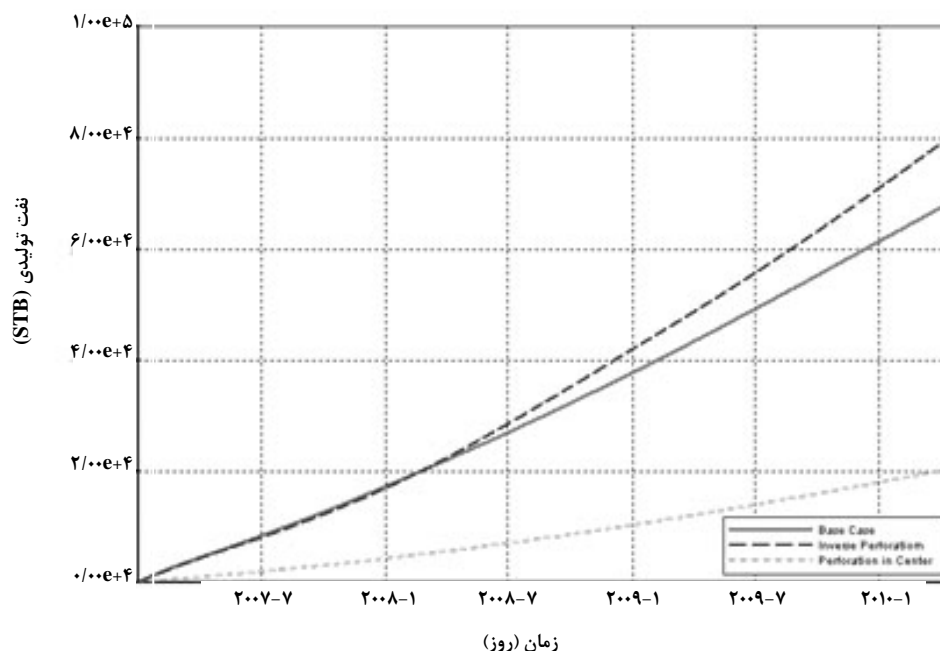
طبق آنچه در مقدمه گفته شد توقع داریم که نیروی وزنی فاکتور حساسی در فرایند ریزش ثقلی باشد. نیروهای ثقلی سیال سازند را می‌توان تابع ارتفاع بلوک‌های ماتریس سازند نیز دانست. در شبیه‌سازی برای تغییر در فاکتور ثقلی می‌توان میزان گراویتی سیال مخزن را تغییر داد ولی این روش چندان جالب نیست زیرا در واقع ترکیب و خصوصیات سیال حین تولید تقریباً ثابت می‌ماند. طرح ما این است که با تغییر در ارتفاع بلوک‌های دخیل در تولید، به‌صورتی واقعی‌تر، تأثیر تغییر در نیروی ثقلی را اعمال کنیم، لذا با تغییر در مشبک کاری چاه تولیدی، تأثیر فاکتور وزنی سیال را که تابعی از طول بلوک است در شبیه‌سازیمان اعمال کرده‌ایم.

در مدل اولیه چاه تزریقی در دو لایه بالایی و چاه تولیدی در دو لایه پایینی مخزن مشبک شده بودند، در این بخش ابتدا این ترتیب مشبک کاری را معکوس می‌کنیم (یعنی چاه تولیدی در دو لایه بالایی مشبک شد) که این تغییر هم ارز با کاهش ارتفاع بلوک‌های سنگ مخزن می‌باشد، یعنی به‌صورت غیرمستقیم ارتفاع بلوک‌ها را کاهش دادیم، که منجر به کاهش در نیروی ثقلی می‌گردد. در مرحله بعد، مشبک کاری را برای هر دو چاه، تنها در لایه میانی مخزن در نظر گرفتیم (بدین صورت ارتفاع بلوک‌ها کوتاه‌تر شده و

نیروی ثقلی مؤثر، محدودتر می‌شود).

در مرحله دوم (مشبک کاری عکس)، از آنجا که چاه تولیدی، در دو لایه بالایی مشبک شده است، می‌توان گفت که ارتفاع مؤثر بلوک‌های سازند حاوی نفت، کمتر از حالت پیشین است و نیروی ثقلی سیال سازند کمتر از مدل اصلی اولیه است، بنابراین توقع داریم که بازیافت نفت کمتر باشد. (شکل (۷))

علت آنکه در این حالت بازیافت نفت بیشتر شده است آن است که تراوایی لایه فوقانی (که تولید از آن صورت گرفته) ۵۰۰ لایه میانی ۵۰ میلی داریسی است (در حالی که در مدل اولیه ۲۰۰ و ۵۰ میلی داریسی بوده است) که منجر به تولید بیشتری شده که این امر متناقض با پیش بینی ما نیست و چنانچه تراوایی همه لایه‌ها یکسان می‌بود، با کاهش عمق مشبک کاری (کاهش ارتفاع بلوک‌ها)، میزان بازیافت نفت در اثر کاهش نیروی وزنی سیال مخزن کمتر می‌شد. به عبارت دیگر تراوایی بالای لایه تولیدی اثر کم شدن نیروی ثقلی سیال را جبران کرده و تولید بیشتر شده است. در حالت سوم تنها یک لایه مشبک کاری شده (لایه میانی) در تولید لحاظ شده و به علت عمق متوسط بلوک‌های دخیل، نیروی ثقلی پایین بوده است (تراوایی لایه نیز بسیار کم بوده). بنابراین در مقایسه با دو حالت قبل، بازیافت در این حالت بسیار کاهش یافته است.



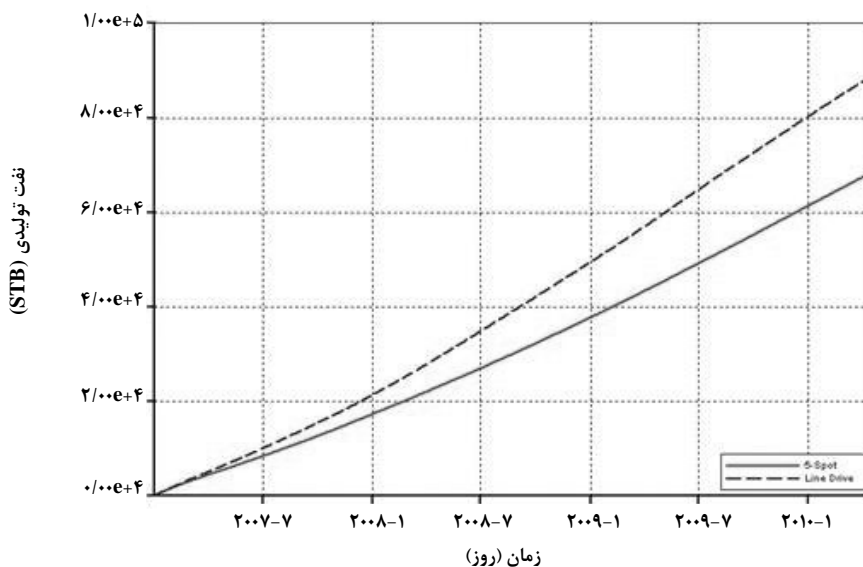
شکل ۷- تأثیر نیروی وزنی سیال بر بازیافت تحت تزریق گاز

## ۴-۳ تأثیر الگوی چاه‌های تزریقی بر مکانیسم ریزش ثقلی

در این بخش دو الگوی تزریق را با هم مقایسه می‌کنیم. مدل مخزن را با هر دو الگوی Linedrive و Fivespot شبیه‌سازی کرده و بازیافت را مقایسه نموده‌ایم. از آنجا که در مدل پنج نقطه‌ای فضای بهتری برای جاروب شدن داریم توقع داریم بازیافت بیشتر باشد ولی اصولاً فاکتورهای زیادی بر بازیافت تحت این دو الگو تأثیرگذار می‌باشند که مقایسه و نتیجه‌گیری کلی را پیچیده می‌کند. الگوی تزریق Fivespot از لحاظ ساختاری فضای بیشتری را برای روبش در اختیار دارد، افزایش سطوح تماس سیالات تزریقی و تولیدی باعث افزایش حساسیت سیستم تولیدی به ماهیت سیال تولیدی (نفت) می‌گردد. از آنجا که سیال مخزن، نفت سنگین می‌باشد لذا به علت تحرک پایین، در روش تزریقی پنج نقطه‌ای پدیده Fingering بیشتر بروز کرده و تولید در این حالت کمتر شده است (شکل (۸)).

## ۴- نتایج‌گیری

پس از شبیه‌سازی فرایند تزریق گاز با شدت جریان ۱۰۰۰۰۰ فوت مکعب در روز و به مدت ۱۲۰۰ روز نمودار بازیافت راجهت تحلیل ثبت نموده‌ایم، مجدداً از مدل ساخته شده چندین اجرا گرفتیم با این تفاوت که هر بار صرفاً یک فاکتور تغییر کرده و بقیه شرایط، شبیه حالت اول طراحی گردید، بدین ترتیب تأثیر عامل تغییر یافته



شکل ۸- تأثیر الگوی چاه‌های تزریقی بر تولید تحت تزریق گاز

را بر بازیابی نهایی نفت مشاهده و تحلیل نمودیم.

۱. آنالیز حساسیت انجام شده نشان داد که نیروی ثقلی سیال مخزن، مستقیماً بر فرایند تزریق گاز به مخزن تأثیر مثبت دارد. این نکته را می‌توان براساس نیروهای دخیل بر فرایند ریزش ثقلی توجیه نمود که پیش تر، در مقدمه مقاله به لحاظ نظری طرح و تفسیر شده بود.

۲. مشاهده گردید که با کاهش گرانیوی سیال مخزن، به ازای همان مقدار گاز تزریقی، مقدار نفت بیشتری از مخزن بازیافت شده است زیرا کاهش گرانیوی نفت، قدرت تحرک و جابجایی نفت را افزایش می‌دهد لذا در اثر تزریق گاز به مخزن، حجم بیشتری از نفت مخزن به سمت چاه تولیدی جارو می‌شود و تولید و بهره‌دهی مخزن افزایش می‌یابد.

۴. اشباع اولیه سنگ مخزن از آب نتیجه معکوسی بر بازیافت نفت دارد زیرا اشباع بیشتر از آب به معنای آن است که سهم کمتری از فضای متخلخل سنگ مخزن، توسط نفت اشغال شده است.

۵. تحلیل عامل آرایش جهت چاه‌های تزریق گاز نشان داد که الگوی تزریق خطی (Line Drive) نسبت به مدل (Five Spot) به بازدهی بیشتری منجر خواهد شد لذا تزریق گاز به این مخزن دریایی کشورمان که حاوی نفت سنگین می‌باشد، تحت الگوی تزریقی خطی پیشنهاد می‌گردد.

- [1] Jadhwar, P. S., Sarma, H. K., "Improved Production Strategy for Enhancing the Immiscible and Miscible CO<sub>2</sub> -Assisted Gravity Drainage Oil Recovery", international Oil and Gas Conference and Exhibition in China, (8-10 June 2010).
- [2] Karimaie, H., Torsæter, O., "CO<sub>2</sub> and C1 Gas Injection for Enhanced Oil Recovery in Fractured Reservoirs", SPE International Conference on CO<sub>2</sub> Capture, Storage, and Utilization (10-12 November 2010).
- [3] Mirzaei, M., DiCarlo, D., Ashouripashaki, M., Dehghanpour, H., and Aminzadeh, B., "Prediction of Three-Phase Gravity Drainage From Two-Phase Capillary Pressure Curves", SPE Improved Oil Recovery Symposium, (24-28 April 2010).
- [4] Akinboyewa, J., Das, S. K., Shu Wu, Y., Kazemi, H., "Simulation of Expanding Solvent - Steam Assisted Gravity Drainage in a Field Case Study of a Bitumen Oil Reservoir", SPE Improved Oil Recovery Symposium, (24-28 April 2010).
- [5] Uleberg K., Hoier, L., "Miscible Gas Injection in Fractured Reservoirs", SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, (13-17 April 2002).
- [6] McCormack, M. E., "Design of Steam-Hexane Injection Wells For Gravity Drainage Systems", Journal of Canadian Petroleum Technology (1998).
- [7] Liu, M. K., Andrianov, A. I., Rossen, W. R., "Sweep Efficiency in CO<sub>2</sub> Foam Simulations With Oil", SPE EUROPEC/EAGE Annual Conference and Exhibition, (23-26 May 2011).