

## بررسی و مدل سازی اثر تراوایی سنگ بر کارایی تزریق نیتروژن توسط شبکه عصبی

سید مهدی فتاحیان<sup>۱</sup>، ناصر تیموری خانه سری<sup>۲\*</sup>، محمدصادق مومنی<sup>۳</sup>

۱- امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت

۲- اهواز، دانشگاه صنعت نفت، بخش مهندسی گاز

۳- یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، گروه مهندسی نفت

پیام نگار: nasser.teymourei@gmail.com

### چکیده

در این تحقیق از یک مدل ایده آل تزریق نیتروژن برای بررسی تاثیر تراوایی روی تولید و افت فشار مخزن استفاده شده است. مدل با استفاده از نرم افزار ECLIPSE 300 شبیه سازی گردید که شامل ۲ چاه تولیدی و یک چاه تزریقی است. سناریوی مطرح شده تغییر تراوایی در جهت Z می باشد. با ازدیاد تراوایی در جهت Z نرخ تولید نیز افزایش می یابد و بیشترین افت فشار مربوط است به تراوایی ۱ میلی داری که با افزایش تراوایی به دلیل تکمیل چاه در لایه های ۱ و ۲ به کاهش افت فشار و نهایتاً به دلیل رسیدن اثر تزریق به کل مخزن و اشباع مخزن توسط آن به افزایش فشار منجر می شود. در این تحقیق نسبت همبستگی تراوایی با فشار و تولید کل به کمک شبکه عصبی تعیین شد.

کلمات کلیدی: تزریق  $N_2$ ، شبکه عصبی، تراوایی، نسبت همبستگی R

### ۱- مقدمه

ماسه سنگی، شکافدار و بدون شکاف، نفتی و گازی قابل انجام است [۱]. از خواص مورد توجه نیتروژن ضریب تراکم پذیری بالای آن نسبت به گازهای دیگر است و به همین دلیل حجم زیادی از مخزن را اشغال می نماید [۲]. در سال ۲۰۰۴ تزریق نیتروژن در کلاهدک گازی یک مخزن شکافدار که بصورت مکعبی در نظر گرفته شده بود توسط نرم افزار ECLIPSE شبیه سازی گردید، نتایج نشان داد که تخلیه نفت ماتریکس به وسیله تزریق سریع تر از سایر گازهای امتزاجی بوده و این نیز سبب تماس بیشتر نفت بوده که سبب افزایش بازدهی جارویی است [۳ و ۴]. نیتروژن گازی است که همه جا در دسترس است، نسبتاً ارزان

تزریق گاز نیتروژن در مخزن نفتی امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است که می تواند باعث حفظ فشار مخزن و افزایش بازیافت گردد. اولین پروژه تزریق گاز نیتروژن در مخزن فوردچه ایالت لوئیزیانای آمریکا در سال ۱۹۷۷ میلادی شروع گردید. در این مخزن گاز متان تزریق می شده است که به علت عدم دسترسی به مقدار مورد نیاز و گران بودن آن، نیتروژن جایگزین آن گردیده است. تزریق نیتروژن با اهدافی از قبیل جابه جایی غیر امتزاجی، جابه جایی امتزاجی، تثبیت فشار و یا فشار افزایشی جهت بالا بردن بازدهی، جابه جایی ریزش ثقلی، تزریق متناوب آب و گاز در مخازن آهکی و

جدول ۱- ترکیبات سیال مخزن

ترکیبات	ZI (درصد)
N <sub>2</sub>	۰
H <sub>2</sub> S	۰
CO <sub>2</sub>	۰/۲۴۸۰۱
C <sub>1</sub>	۲۶/۲۶۴
C <sub>2</sub>	۶/۷۹۲۱
C <sub>3</sub>	۵/۹۳۲۱
IC <sub>4</sub>	۰/۹۵۷۰۱
NC <sub>4</sub>	۳/۰۶۱
IC <sub>5</sub>	۱/۲۹۱
NC <sub>5</sub>	۱/۴۶۹
C <sub>6</sub>	۲/۹۱۳
C <sub>7+</sub>	۳۲/۲۲۸
C <sub>14+</sub>	۱۱/۸۹۱
C <sub>25+</sub>	۶/۹۵۳

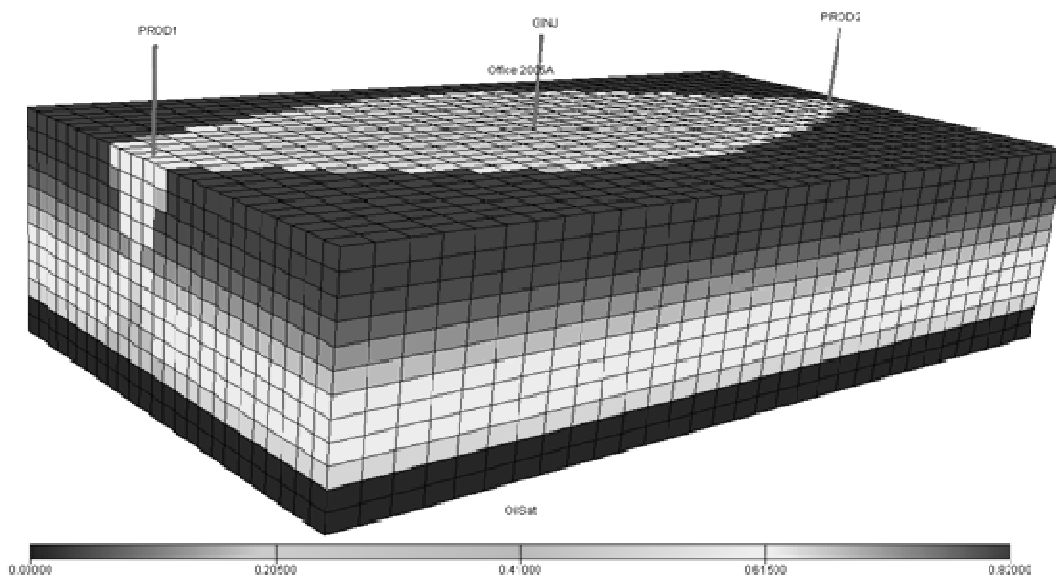
است و گازی است با ویژگی‌های تزریقی مورد نظر (ایمنی، ضد خوردگی و سازگار با محیط زیست) و می‌تواند یک منبع تناوبی باشد [۵].

## ۲- خصوصیات مخزن

این مدل دارای ۹۶۰۰ (۳۲×۲۵×۱۲) بلوک است. فشار اولیه مخزن ۵۰۰۰ و عمق مینا ۷۰۵۵ فوت و دما ۱۵۰ درجه فارنهایت است. سطح تماس آب- نفت و نفت-گاز به ترتیب ۷۱۳۰ و ۷۰۰۰ فوت می‌باشد. در این تحقیق، مخزن مورد مطالعه دارای دو چاه تولیدی در دو طرف مخزن و یک چاه تزریقی در مرکز مخزن می‌باشد و تزریق از ابتدای تولید مخزن صورت گرفت. فشار تزریق و نرخ آن به ترتیب ۵۰۰۰ PSI و ۱۲۰۰۰ Mscf می‌باشد (شکل (۱)).

## ۳- خواص سیال مخزن

سیال مورد مطالعه بعد از گروه‌بندی دارای ۱۴ جزء می‌باشد که در جدول (۱) ترکیب آن نشان داده شده است. برای شبیه‌سازی خواص سیال از معادله حالت سه پارامتری پینگ رایینسون استفاده شد. مقادیر تراوایی نسبی و فشار موینگی در جدول (۲) آمده است [۶].



شکل ۱- مدل مخزن

جدول ۲- تراوایی نسبی و فشار مؤئنگی

P cog	K rog	K rg	S gas	P cow	Krow	K rw	wat S
۰	۰/۹	۰	۰	۵۰	۰/۹	۰	۰/۱۸
۰	۰/۵۵۵	۰	۰/۰۵	۴۳	۰/۸۰۸	۰	۰/۲
۰	۰/۳۷۱	۰	۰/۱	۲۲	۰/۴۱۲	۰/۰۰۱	۰/۳۲
۰	۰/۲۱۲	۰	۰/۱۲	۱۱	۰/۲۶	۰/۰۸۲	۰/۴۲
۰	۰/۱۰۴	۰/۰۰۲	۰/۱۸	۵/۸	۰/۰۶۸	۰/۱۶۵	۰/۵
۰	۰/۰۴	۰/۰۰۵	۰/۲۵	۲/۳۶	۰/۰۱۵	۰/۲۴۹	۰/۵۹
۰	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۳	۱/۴۱۲	۰/۰۰۲	۰/۳۸	۰/۶۸
۰	۰/۰۰۱	۰/۰۳۶	۰/۳۳	۱/۰۹	۰	۰/۴۸۲	۰/۷۳
۰	۰	۰/۰۶	۰/۳۶	۰/۸	۰	۰/۸۲	۰/۸۲
۰	۰	۰/۹	۰/۸	۰	۰	۱	۱

#### ۴- سناریوی شبیه‌سازی مخزن

بصورت عددی بکار برده شدند و خروجی تراوایی در جهت Z می‌باشد که همان ورودی در نرم‌افزار اکلیپس است و به صورت ۴۰ تراوایی در جدول (۳) آورده شده‌اند. این مقدار برای داده‌های آموزش، اعتبار سنجی و آزمون به صورت نمودارهای رگرسیون در شکل‌های (۴) و (۵) برای تغییرات تراوایی در جهت Z ارائه شده است. در این نرم‌افزار با وارد کردن ورودی و خروجی در ستون‌های مشخص شده و شروع کار نرم‌افزار بخشی از داده‌ها را به طوری که قبلاً مقدار آن تعیین گردیده و معمولاً ۱۵ درصد از کل داده‌ها می‌باشد برای آموزش استفاده می‌شود و داده‌های اعتبار سنجی که مقدار آن نیز قبلاً مشخص می‌شود و معمولاً به اندازه داده‌های آموزش می‌باشد، ارزش و درصد اثرگذاری داده‌ها را مشخص کرده و در نهایت داده‌های آزمون با مقدار تعیین شده که در اینجا ۷۰ درصد از کل داده‌ها است نتایج اصلی بدست آمده از نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

در این بخش از نرم‌افزار شبیه‌ساز مخزن استفاده شده است. در این شبیه‌ساز با وارد کردن خواص PVT مخزن و تغییرات روی پارامترهای متغیر نتایج مختلفی بدست می‌آید که در این سناریو با وارد کردن تغییرات تراوایی در جهت Z از مقدار ۱ تا ۷۰۰ میلی داری که در جدول (۳) آمده است نتایج مورد نظر که در این کار تغییرات فشار (FPR) و دبی کل تولیدی (FOPT) است به صورت منحنی نمایش داده شده است. تعداد داده‌های ورودی در این بخش ۴۰ عدد می‌باشد که با وارد کردن هر کدام از آنها یک منحنی بدست می‌آید که در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده‌اند و هر منحنی برای مقادیر تغییرات فشار (FPR) و دبی کل تولیدی (FOPT) هر دو برحسب زمان در واحد روز در محور افقی و تغییرات تراوایی در جهت Z در محور عمودی نشان داده شده‌اند.

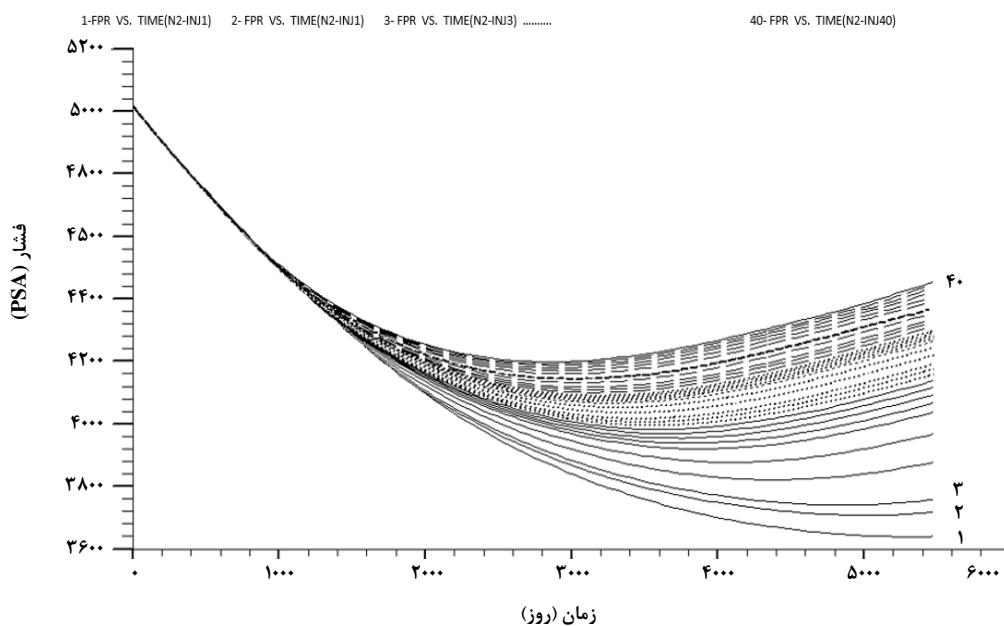
#### ۵- پیش‌بینی توسط شبکه عصب

این نرم‌افزار به بررسی اثرگذاری داده‌های استفاده شده روی هم در شبیه‌سازی می‌پردازد و این اثرگذاری را با شاخصی به نام ضریب همبستگی که با R نمایش داده می‌شود نشان می‌دهد. برای دو سناریوی بالا ضریب همبستگی که با  $R_2$  مشخص شده است تعیین شد. در این سناریو خروجی نرم‌افزار اکلیپس به عنوان ورودی نرم‌افزار شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت و به ترتیب تغییرات فشار و دبی کل تولیدی بدست آمده از شکل‌های (۲) و (۳) می‌باشد که

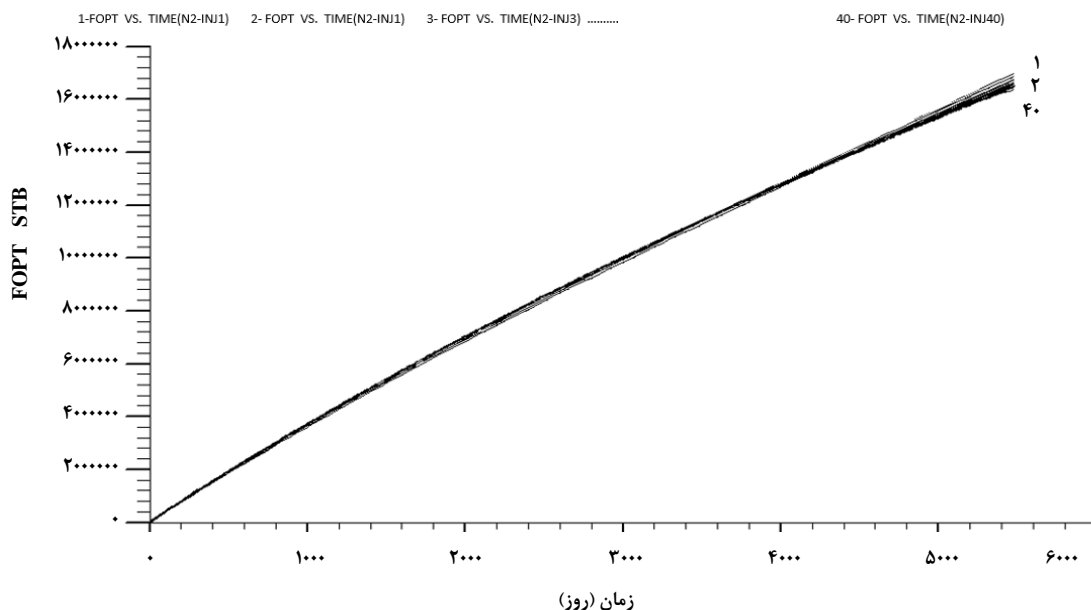
در این بخش تزریق  $N_2$  به مخزن حاوی سیال با درصد ترکیبات داده شده در جدول (۱) انجام شده است. سایر خواص سیال نیز در جدول (۲) ارائه داده شده است. تزریق نیتروژن با هدف بدست آوردن منحنی‌های تغییرات فشار (FPR) و منحنی‌های تغییرات دبی کل تولیدی (FOPT) به ترتیب در شکل (۲) و (۳) برای ۴۰ تراوایی ارائه داده شده که در جدول (۳) انجام شده است.

جدول ۳- تغییرات تراوایی در جهت Z

۱۹۰	KZ <sub>۲۱</sub>	۱	KZ <sub>۱</sub>
۲۰۰	KZ <sub>۲۲</sub>	۵	KZ <sub>۲</sub>
۲۱۰	KZ <sub>۲۳</sub>	۱۰	KZ <sub>۳</sub>
۲۲۰	KZ <sub>۲۴</sub>	۲۰	KZ <sub>۴</sub>
۲۳۰	KZ <sub>۲۵</sub>	۳۰	KZ <sub>۵</sub>
۲۴۰	KZ <sub>۲۶</sub>	۴۰	KZ <sub>۶</sub>
۲۶۰	KZ <sub>۲۷</sub>	۵۰	KZ <sub>۷</sub>
۲۸۰	KZ <sub>۲۸</sub>	۶۰	KZ <sub>۸</sub>
۳۰۰	KZ <sub>۲۹</sub>	۷۰	KZ <sub>۹</sub>
۳۲۰	KZ <sub>۳۰</sub>	۸۰	KZ <sub>۱۰</sub>
۳۴۰	KZ <sub>۳۱</sub>	۹۰	KZ <sub>۱۱</sub>
۳۶۰	KZ <sub>۳۲</sub>	۱۰۰	KZ <sub>۱۲</sub>
۳۸۰	KZ <sub>۳۳</sub>	۱۱۰	KZ <sub>۱۳</sub>
۴۰۰	KZ <sub>۳۴</sub>	۱۲۰	KZ <sub>۱۴</sub>
۴۵۰	KZ <sub>۳۵</sub>	۱۳۰	KZ <sub>۱۵</sub>
۵۰۰	KZ <sub>۳۶</sub>	۱۴۰	KZ <sub>۱۶</sub>
۵۵۰	KZ <sub>۳۷</sub>	۱۵۰	KZ <sub>۱۷</sub>
۶۰۰	KZ <sub>۳۸</sub>	۱۶۰	KZ <sub>۱۸</sub>
۶۵۰	KZ <sub>۳۹</sub>	۱۷۰	KZ <sub>۱۹</sub>
۷۰۰	KZ <sub>۴۰</sub>	۱۸۰	KZ <sub>۲۰</sub>



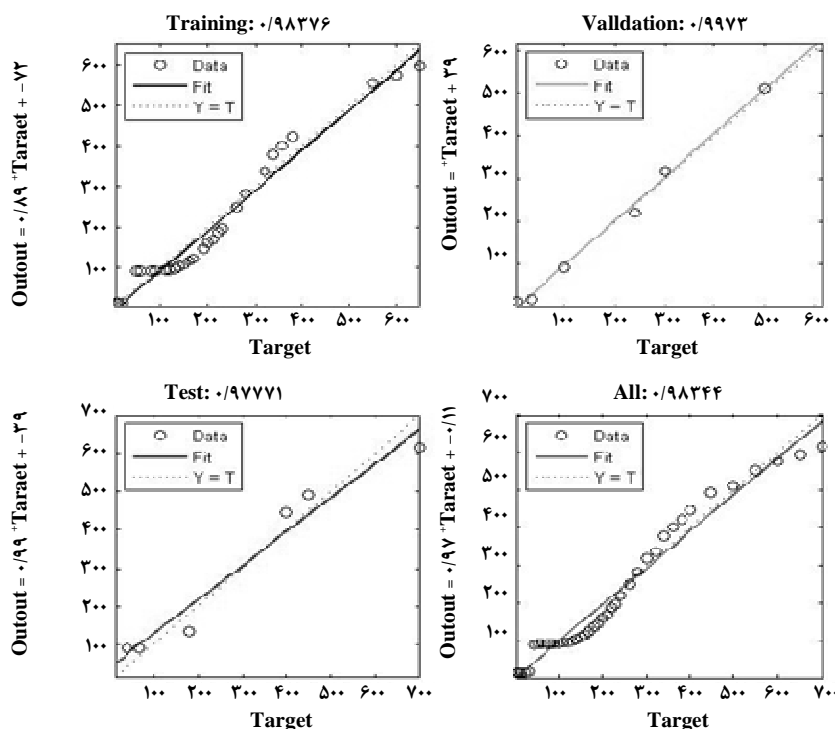
شکل ۲- تغییرات فشار نسبت به تغییرات تراوایی (FPR)



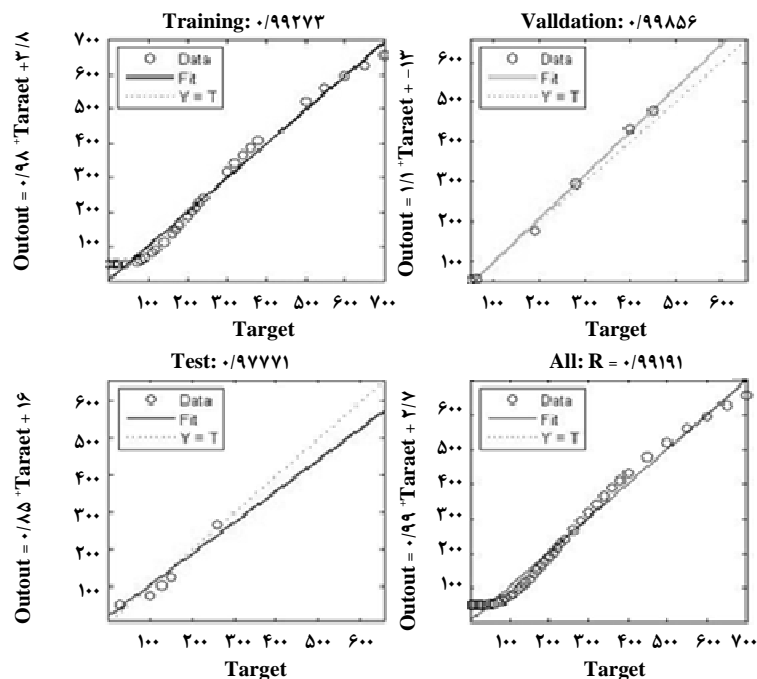
شکل ۳- تغییرات دبی کل تولیدی نسبت به تغییرات تراوایی (FOPT)

بخش که همان مقادیر تراوایی ارائه شده در جدول (۳) می‌باشد به عنوان خروجی مورد استفاده قرار گرفتند. در این شبیه‌سازی برای هر کدام از داده‌ها تعداد لایه‌های مخفی مشخص شد که برای هر نمودار مشخص شده است.

در شکل‌های (۴) و (۵) با هدف به دست آوردن میزان همبستگی بین داده‌های ورودی و داده‌های خروجی و تعیین تاثیر پذیری بین این دو بخش، خروجی نرم‌افزار بخش قبل که بصورت نمودار در شکل‌های (۲) و (۳) بدست آمد به عنوان ورودی، و ورودی در آن



شکل ۴- رگرسیون خطی برای شکل (۲)



۵- رگرسیون خطی برای شکل (۳)

در پیش‌بینی شبکه عصبی برای تغییرات تراوایی در جهت Z دو نمودار تغییرات نرخ فشار (FPR) و نمودار مقدار کل نفت تولیدی (FOPT) بررسی شد و همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود تعداد ۴ نمودار خروجی نرم‌افزار ارائه داده شده است که هر کدام برای بخش‌های مجزای داده‌ها بطوری که قبلاً ذکر شد ۱۵ درصد برای آموزش ۱۵ درصد اعتبار سنجی و ۷۰ درصد برای داده‌های آزمون است و شکل نهایی مربوط به رگرسیون کل داده‌ها است و تغییرات نرخ فشار در تعداد ۲۰ لایه مخفی برای داده‌های آزمون مقدار  $R^2 = 0.9559$  بدست آمد و در شکل (۵) نیز همانند شکل قبل دارای ۴ نمودار با همان نسبت داده‌ها می‌باشد برای کل نفت تولیدی در تعداد ۱۲ لایه مخفی برای داده‌های آزمون مقدار  $R^2 = 0.9013$  حاصل شد.

### ۸- نتیجه‌گیری

۱- با افزایش تراوایی در جهت Z افت فشار کم خواهد شد که پس از مدتی با رسیدن اثر گاز تزریقی و اشباع مخزن توسط گاز افزایش فشار را در تراوایی‌های بالا به دنبال خواهد داشت. نرخ کل تولید با افزایش تراوایی کاهش می‌یابد.

### ۷- بحث

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود تغییرات نرخ فشار نسبت به زمان نمایش داده می‌شود بطوری که در نمودار نرخ فشار (FPR) مشاهده می‌شود بیشترین افت فشار را تراوایی ۱ میلی داری دارد و روند افت فشار برای منحنی‌ها با تراوایی بالاتر به ترتیب کم شده و نهایتاً کمترین افت فشار مربوط به تراوایی ۷۰۰ میلی داری می‌باشد که دلیل آن تکمیل چاه تزریقی در لایه‌های ۱ و ۲ است و در نتیجه اثر تزریق نیتروژن بهتر به لایه‌های پایینی مخزن خواهد رسید و حتی در پایان دوره تزریق به دلیل رسیدن اثر تزریق به کل مخزن و اشباع شدن مخزن، افزایش فشار را به دنبال خواهد داشت. در شکل (۳) تغییرات نرخ کل نفت تولیدی نسبت به زمان ارائه داده شده است بطوری که در نمودار کل تولید نفت (FOPT) بیشترین تولید مربوط به تراوایی ۱ میلی داری می‌باشد و این افزایش تولید همانطور که در شکل نشان داده شده است با افزایش تراوایی کم شده تا به کمترین تولید که مربوط به تراوایی ۷۰۰ میلی داری است می‌رسد. دلیل آن افزایش تراوایی در جهت عمود و حاکم شدن مکانیزم نیروی ثقل است که تمایل حرکت بیشتر به سمت پایین را افزایش می‌دهد و حرکت به سمت چاه کم می‌شود و تولید پایین می‌آید.

## مراجع

- [1] Hansen, J. E., Rogaland Research Ins, "Nitrogen as a Low-Cost Replacement for natural gas Reinjection", Spe 17709, (1998).
- [2] Mungan, N., "High Pressure Nitrogen Injection for Miscible/Immiscible Enhanced Oil Recovery". Spe - 81800, (2003).
- [3] Vicencio, O. A., Sepehr Noori, K., "Simulation of Nitrogen injection into naturally fractured reservoirs". Spe - 92110. November (2004).
- [4] Lambert, M. R., Marino, S. D., Anthony, T. L., Calvin, M. W., Gutierrez, S., Smith, D. P., "Implementing CO<sub>2</sub> floods: no more delays". Spe -35187. March (1996).
- [5] Siregar, S., Hagoort, J., Ronde, H., "Nitrogen injection vs. Gas Cycling in Rich Retrograde Condensate-Gas Reservoirs". Spe-22360. March (1992).
- [6] مؤمنی، م. ص.، تیموری خانه‌سری، ن.، "بررسی و مدل‌سازی اثر خواص سنگ بر کارایی تزریق CO<sub>2</sub>". آذر (۱۳۹۰).

۲- در بررسی مدل با شبکه عصبی با قرار دادن داده های خروجی از نرم افزار و آموزش داده ها، از داده های آزمون این نتیجه بدست آمد که هم در ۲ نمودار تغییرات فشار در ۲ سناریو و هم در ۲ نمودار تولید کل در ۲ سناریوی تعریف شده مقادیر R<sup>2</sup> بیش از ۰/۹ بوده است پس داده های ورودی و خروجی شبکه همبستگی بالایی دارند و این نشان می دهد که تاثیر تغییرات تراوایی روی تغییرات فشار و تولید کل زیاد است.

## ۹- تشکر و قدردانی

از مدیریت شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب بخاطر حمایت و همکاری مؤثرشان در خصوص نرم افزار مورد استفاده تشکر و قدردانی می شود.