٤٨١٠٨

دانشگاه تهران
دانشکده فنی

# تزریق امتزاجی گاز در یکی از مخازن ترکدار جنوب غربی ایران

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تحویل مدارک

نگارش : مهرداد رحیمی

۱۳۸۲ /۸/ ۲۰

استاد راهنما : پروفسور سهیمی
استاد مشاور : دکتر حقیقی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در
رشته مهندسی مخازن هیدروکربوری

شهریور ماه ۱۳۸۲

۴۸۱۰۵

شماره : .....

تاریخ : .....

بنام خدا

## صورتجلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

گروه مهندسی شیمی دانشکده فنی.....

با عنایت به آئین نامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته، جلسه دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد آقای / خانم محمد ... رحیمی ..... به شماره دانشجویی .....۸۱۰۴۸۵۰۰۲۹..... در رشته مهندسی شیمی ..... گرایش مهندسی خوراک ..... در تاریخ ۸۲/۷/۲۹ ..... در محل سیمی بهبهان ... با عنوان ... تبدیل متانول به گازهای سبک از خوراک جنوب غرب ایران با حضور هیات داوران تشکیل شد و براساس کیفیت رساله، ارائه دفاعیه و نحوه پاسخ به سوالات ، رای نهایی به شرح ذیل اعلام گردید:

پایان نامه مورد قبول می باشد [✓] پایان نامه با اصلاحات مورد قبول می باشد [ ] پایان نامه مورد قبول نمی باشد [ ]

تعداد واحد پایان نامه [ ]

نمره نهایی پایان نامه : به عدد 19 به حروف نوزده

درجه پایان نامه : عالی

۱۳۸۲/۸/۲۰

| ردیف | مشخصات هیات داوران | نام و نام خانوادگی | مرتبه دانشگاهی | دانشگاه یا موسسه | امضاء |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | استاد راهنما<br>استادراهنمای دوم ( حسب مورد) : | دکتر سهیمی | | دانشگاه تهران | |
| ۲ | استاد مشاور : | دکتر حقیقی | | دانشگاه تهران | |
| ۳ | استاد مدعو :<br>( یا استاد مشاور دوم ) | دکتر نصری فر | | دانشگاه تهران | |
| ۴ | استاد مدعو : | دکتر دبیر | | دانشگاه امیرکبیر | |
| ۵ | نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده یا گروه آموزشی : | دکتر ستوده | | | |

نام ونام خانوادگی مدیر گروه یا سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه

امضاء :

نام ونام خانوادگی معاون تحصیلات تکمیلی دانشکده

امضاء : تاریخ :

دانشکده فنی دانشگاه تهران
تحصیلات تکمیلی

# چکیده

فرمول بندی رونده تصادفی جهت محاسبات جریان ناپایدار در مخازن ناهمگن توضیح داده می شود وتوزیع تراوائی یکی از مخازن ترکدار جنوب غربی ایران برای تحقیق و بررسی فرایند جابجائی امتزاجی انتخاب شد. یک لایه از مخزن بوسیله این مدل شبیه سازی شد و با شبیه ساز GEM از سری نرم افزارهای CMG نیز این لایه شبیه سازی و مورد مقایسه قرار گرفت و توافق خوبی در این جهت که عامل اصلی در شکل گرفتن انگشتی ها توزیع تراوائی ترک می باشد بدست آمد.

همچنین شبیه سازی فرایند ناپایدارجابجائی امتزاجی در محیط متخلخل توضیح داده می شود . آنها نشان می‌دهند که اگر توزیع تراوائی همبستگی نداشته باشند یا واریانس آنها کم باشد شکل انگشتی ها شبیه به آنچه که در محیط همگن مشاهده کردیم ، می باشداگر که تراوائی بطور قابل ملاحظه ای تغییر کند یا واریانس آن بالا باشد . یا طول همبستگی بخشی از طول جریان باشد آنگاه توزیع تراوائی نیروی غالب بر تشکیل انگشتی ها می باشد و انگشتی ها یک مسیر را بدون در نظر گرفتن نسبتهای تحرک انتخاب می کنند.شاخص غیر همگنی از واریانس توزیع تراوائی و طول بدون بعد همبستگی بدست آمده وبرای تعیین محدوده گذر از نیروی غالب بر جریان بوسیله ویسکوز تا نیروی غالب بر جریان بوسیله توزیع تراوائی بکاربرده شد.

در نهایت بعنوان یک مطالعه جابجائی امتزاجی را در یکی از مخازن ترکدار جنوب غربی ایران شبیه سازی کرده و با تخلیه طبیعی ، تزریق گاز خشک و تزریق Make up gas مورد مقایسه قرار داده و مشاهده شد که جابجائی امتزاجی کارائی بیشتری دارد ۴۲٪ بازیافت می توان با این روش داشت و به عبارتی ۲۶و ۵۶ درصد نفت قابل برداشت در این روش بیشتر از روشهای تزریق گاز خشک و تزریق Make up gas به ترتیب بدست می آید

## پیش گفتار

مخازن دولومیتی و آهکی یکی از بزرگترین منابع نفت خام در جهان مباشند بطور تقریبی ۶۵٪ از نفت تولیدی در حال حاضر جهان از مخازن کربناته بدست میآید که اکثرا در خاورمیانه ،مکزیک ، کانادا می باشند .ساختمان پور در این مخازن با تغییرات گسترده در شکل و اندازه پور می باشد .این تغییرات زیاد مشخصات سازند کربناته همراه با وجود همیشگی ترکها ،محیط متخلخل را خیلی پیچیده می کند که بکار بردن روشهای تحلیلی معمول ،راکه بطور معمول در شناخت فرایند برداشت و پیش بینی کردن نتایج روشهای عملی ازدیاد برداشت بکار می رود ، بسیار مشکل می کند .

همچنین در مخازن ترکداری که درجهان پخش شده اند یکی از بالا ترین ذخایری که می تواند پیدا شود در جنوب غربی ایران و شمال شرقی عراق است .نفت در جا در مخازن ترکدار خاورمیانه ۲۵-۳۰٪کل نفت درجای این منطقه است این درصد می تواند در مقیاس جهانی نیز بکاربرده شود .تزریق گاز با عنوان راهی در افزایش برداشت نفت در مدتهای طولانی در پنجاه سال گذشته بکار برده شده است این طور عنوان شده است بهبود در برداشت نفت به علت تامین فشار مخزن ،جابجائی نفت یا بخار شدن [1]برش میانی سیال مخزن می باشد .تزریق گاز برای ازدیاد برداشت اصولا در مخازن ماسه ای بکار برده شده است یک مطالعه جامع برای دستیابی به پتانسیلی در مخازن کربناته ترکدار در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد در سال ۱۹۷۵ ، بعداز این برنامه سخت تحقیقی ، تزریق گاز بعنوان یک روش برای ازدیاد برداشت نفت در مخازن نفت ترکدار طبیعی ایران انتخاب شد این مکانیزم در پیشرفت فرایند ریزش ثقلی [2] در منطقه تهاجم شده [3]،پایین آوردن سطح برخورد نفت وگاز (GOC) ،تامین فشار نفت و اجازه دادن به فشار کلاهک گازی تا به سطح اولیه برسد، دخالت می کند .

با تحقیقی که بر اساس داده ها مشخص شد تا ۱۶٪ ازدیاد برداشت از نفت اولیه در این مخازن در ایران تا حال داشته ایم که خیلی کمتر از آنچه که بر پایه تئوری پیش بینی می شد ، می باشد(۲۸ ). بنابراین یافتن روشی برای بالا بردن این درصد الزامی می‌باشد اخیرا در شرکت ملی نفت ایران پروژه ای با عنوان تزریق امتزاجی گازدر یکی از مخازن در دست بررسی و اجرا می باشد که ما سعی خواهیم کرد شناخت ودید بهتری از این روش دراین نوع مخازن پیدا کنیم ،تا حد امکان سعی شده است از کلیه مقالات موجود در بررسی و دریافت فهمی بهتر از تزریق امتزاجی در مخازن ترکدار استفاده شود متاسفانه در باره این موضوع خاص، کمتر کار انجام گرفته است.در ابتدا تئوری را با چگونگی جریان در ترک و مدلهای ارائه شده در این باره توضیح خواهیم داد وسپس جابجائی امتزاجی همراه با مدلها وروشهای ارائه شده در مخازن غیرهمگن و ترکدار مورد بررسی قرار می دهیم ، این تئوری مارا آماده می کند برای بررسی پدیده انگشتی در جابجائی امتزاجی که با مدل رونده تصادفی انجام گرفته است

[1] Vaporization
[2] Gravity drainage
[3] Invaded zone

وشبکه بندی این مدل در یک لایه از مخزن واقعی با استفاده از نرم افزار Gem شبیه سازی شده و مورد مقایسه قرار گرفته است . در نهایت تزریق امتزاجی گاز در یکی از مخازن جنوب غربی ایران با استفاده از نرم افزارEclipse 100/300 شبیه سازی شده ونتایج قابل توجهی پیش بینی شده است.

با تقدیر و تشکر فراوان از جناب آقای دکتر سهیمی که راهنما و امید بخش اینجانب در تمام مراحل بوده اند وجناب آقای دکتر حقیقی که معلمی اخلاق برای من بوده وبی شک بدون یاری مشفقانه ایشان این امر انجام پذیرنبود وهمچنین خانم دکتر ابراهیمی که مرا درنوشتن برنامه یاری رسان بودند.

**این تحقیق با حمایت و پشتیبانی شرکت ملی نفت خیز جنوب انجام شده است.**

## فهرست مطالب

عنوان — شماره صفحه


**۱) جریان در یک ترک مجرد** ..... ۲

۱-۱) جریان در سنگ ترک دار ..... ۴

۱-۱-۱) روش پیوستگی:مدل چند تخلخله ..... ۴

۱-۲-۱) مدلهای شبکه ای ، فرمولاسیون دقیق و EMAS ..... ۹

۱-۲)دیسپرژن در یک ترک مجرد ..... ۱۱

**۲)جابجایی امتزاجی** ..... ۱۳

۲-۱)فاکتورهای مؤثر در جابجایی امتزاجی ..... ۱۴

۲- ۲)پدیده انگشتی ویسکوز ..... ۱۷

۲-۳)مدلهای پیوستگی جابجائی امتزاجی در HSC ..... ۱۹

۲-۴)مدلهای پیوستگی جابجایی امتزاجی در محیط متخلخل ..... ۲۴

۲-۵) شبیه سازی عددی جابجائی امتزاجی در محیط متخلخل ..... ۲۹

۲-۶) آنالیز پایداری جابجائی امتزاجی ..... ۳۰

۲-۷) مدلهای جداگانه جابجایی امتزاجی ..... ۳۲

۲-۷-۱)مدلهای دیفیوژن محدود شده متراکم (DLA) ..... ۳۲

۲-۷-۲) مدل شکست دی الکتریک ..... ۳۴

۲-۷-۳)مدل گرادیان حاکمه رشد (GGG) ..... ۳۵

۲-۷-۴) مدل دورونده ..... ۳۴

۲-۷-۵)مدلهای احتمالی ..... ۳۶

۲-۷-۶) مدلهای شبکه معین ..... ۳۹

۲-۸)جابجایی امتزاجی در یک محیط متخلخل مگاسکوپیک ..... ۴۱

**۳)مطالعات انجام شده در تزریق گاز امتزاجی درون مخازن ترکدار** ..... ۴۳

۳-۱)مدل کاردناس و همکاران ..... ۴۵

**۴) استفاده از مدل رونده تصادفی در جابجائی امتزاجی درون مخازن ترکدار** ..... ۴۷

۴-۱) فرضیاتی که برای روش کاربردی استفاده شده است ..... ۴۹

۴-۲)الگوریتم استفاده شده در اجرای برنامه ..... ۵۰

۴-۳) مزایای استفاده از مدل رونده تصادفی ..... ۵۰

۴-۴)مقایسه مدل ارائه شده با مدل koval ..... ۵۱

۴-۵)بدست آوردن شاخص غیر همگنی ..... ۵۲

۴-۶)پدیده انگشتی در مقیاس مخزن ..... ۵۵

۴-۷)استفاده از نرم افزار GEM در شبیه سازی جابجائی امتزاجی در یک لایه از مخزن ..... ۵۶

۴-۸)نتایج بدست آمده از رفتار جریان در مدل ارائه شده..... ۶۳
۴-۹)مقایسه نتایج بدست آمده مدل ارائه شده با شبیه ساز GEMبرای یک لایه از مخزن مورد مطالعه..... ۶۴
**نتایج و پیشنهادات**..... ۶۹
**۵)مطالعه تزریق گاز امتزاجی در یکی از مخازن ترکدار جنوب غربی ایران** ..... ۷۰
۵-۱)تطابق تاریخچه ..... ۷۰
۵-۲) اطلاعات مخزن ..... ۷۱
۵-۳)نتایج و پیش بینی های بدست آمده ..... ۷۵
**منابع**..... ۷۸
**ضمیمه**..... ۸۱

## فهرست شکلها

عنوان شکل صفحه


۱) شکل۱-۱ :دو تصویر از یک ترک مجردکه برابر با تصویر وسط می باشد ..... ۳
۲) شکل۱-۲ :شبکه دو بعدی از یک ترک مجرد ،و توزیع جریان در آن..... ۳
۳) شکل ۱-۳ : حل نوعی وارن –روت برای مخزن نامحدود ..... ۷
۴) شکل ۱-۴ :یک وابستگی نوعی از مشتق شار به زمان برای محیط دو تخلخله..... ۸
۵) شکل۱-۵ :دو سناریو برای دیسپرژن در تقاطع ترک..... ۱۲
۶) شکل ۲-۱ :نمائی از پدیده انگشتی ویسکوز برای M=1 و M=10 ..... ۱۶
۷) شکل ۲-۲ :جدائی نوک در یک پدیده انگشتی ویسکوز در یک HSC ..... ۲۳
۸) شکل ۲-۳ :پدیده پوشش..... ۲۳
۹) شکل۲-۵ :وابستگی شاخص غیر همگنی با بازیابی ..... ۲۶
۱۰) شکل ۲-۶ : مقایسه پیش بینی های مدل Koval ..... ۲۷
۱۱) شکل ۲-۷ یک DLA دو بعدی..... ۳۳
۱۲) شکل ۲-۹ : مقایسه پیش بینی مدل Araktingi-Orr با داده های آزمایشگاهی..... ۳۹
۱۳). شکل ۴-۱: واریوگرام بزرگترین شعاع همبستگی توزیع تراوائی..... ۵۵
۱۴) شکل۴-۲: نمودار هیستوگرام فراوانی داده ها تراوائی..... ۵۵
۱۵) شکل ۴-۳ : تغییرات نسبت گاز به نفت در جابجائی امتزاجی..... ۵۸
۱۶) شکل ۴-۴ : تغییرات دبی تولیدی نفت در جابجائی امتزاجی ..... ۵۹
۱۷) شکل ۴-۵ : تغییرات فشار در جابجائی امتزاجی..... ۶۰
۱۸) شکل ۴-۶ : تغییرات نسبت گاز به نفت در تزریق گاز خشک..... ۶۱
۱۹) شکل ۴-۷ : تغییرات دبی تولیدی نفت در تزریق گاز خشک..... ۶۲
۲۰) شکل ۴-۸ : تغییرات فشار در تزریق گاز خشک..... ۶۳
۲۱) شکل۴-۹ : مقایسه جابجائی در توزیع تراوائی های متفاوت برای M=1 و M=20..... ۶۷
۲۲) شکل۴-۱۰ : جابجائی با استفاده از توزیع تراوائی لایه مخزن برای M=1 ..... ۶۸
۲۳) شکل۴-۱۱ : جابجائی با استفاده از توزیع تراوائی لایه مخزن برای M=59..... ۶۹

## فهرست جداول

عنوان جدول صفحه

جدول ۴-۱: ترکیب گاز تزریقی برای حالت تزریق امتزاجیو تزریق گاز خشک..... ۵۸
جدول ۴-۲: اجرای برنامه برای توزیع تراوائی های متفاوت..... ۶۵
جدول ۵-۱: مشحصات سنگ مخزن لایه ها..... ۷۲
جدول ۵-۲: خصوصیات تولیدی چاهها..... ۷۳
جدول ۵-۳: اطلاعات بدست آمده از پژوهشگاه صنعت نفت در موردسیال مخزن..... ۷۴

# تئوری

۱) جریان و دیسپرژن در سنگهای ترکدار

۲)جابجائی امتزاجی در محیط متخلخل

۳)مطالعات انجام شده در تزریق گاز امتزاجی درون مخازن ترکدار

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

# ۱)جریان در یک ترک مجرد[۱]

اگر سطح ترک کاملاً صاف باشد ، باید جریان درون یک ترک مجرد را مثل جریان بین صفحه های موازی در نظر گرفت برای این مدل جریان حجمی Q را بوسیله $Q=\frac{wb^3\Delta P}{(12\mu L)}$ نشان می دهیم که در آن w عرض ترک و b باز شدگی ترک و $\frac{\Delta P}{L}$ گرادیان فشار اعمالی به ترک است و $\mu$ نیز ویسکوزیته سیال عبوری است ، بنابراین مطابق این مدل Q بستگی به توان سوم b دارد ، ولی سطح ترک خیلی زبر است و اغلب زبری آن از آمار فرکتال تبعیت می کند ، تئوریهای مطابق با مشاهدات در آزمایشهای (Tsang and witherspoon ۱۹۸۱ ; Brown,۱۹۸۷) برای انحراف $Q\approx b^3$ بیان شده که به زبری سطح ترک را در نظر می گیرد . به همین دلیل جریان در یک ترک واقعی نمی تواند بصورت تحلیلی حل شود و فقط حلهای عددی می تواند کارا باشد ، که این مسئله بسیار مورد توجه قرار گرفته است . روشهای عددی بکار برده شده بر اساس معادله های پیوستگی[۲]

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}+\nabla(\rho v)=0$$

و معادلهٔ مومنتم[۳]

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t}=-\nabla(\rho vv)-\nabla\cdot\tau-\nabla P+\rho g$$

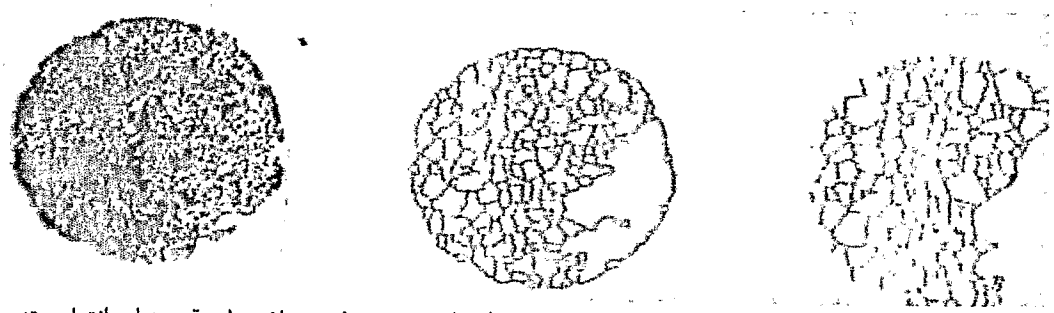
بوسیله اختلاف محدود [۴]یا اجزاء محدود [۵] حل معادله های آنها بنا نهاده شده است .

اگر تأثیر زبری سطح ترک در محاسبات آورده شود ، باید شبکه بندی [۶] سطح زیاد باشد که محاسبات زیادی را نیز لازم دارد .علاوه بر این به دلیل وجود زبری در سطح ترک ، دهانهٔ[۷] ترک نقطه به نقطه تغییر می کند . بنابراین اگر بتوان اندازهٔ دهانه را در نقاط زیادی از فضای ترک اندازه گیری شود سپس این داده ها را درون معادله های مشخصه می تواند بکار برده شود . که خیلی خسته کننده و همراه محاسبات زیاد می باشد .اینطورعنوان شده که دهانه ترک تحت فشار کاهش می یابد ، همچنین در فشار سیال عبوری از ترک تنها این مورد مشاهده شده، شکل (۱-۱) از Billaux (۱۹۹۰) آورده شده است که تصویر برش

---

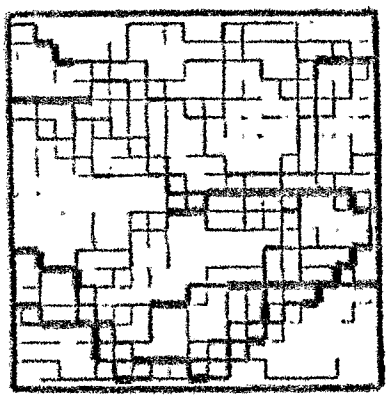
[۱] single fracture
[۲] equation of continuty
[۳] momentum of equation
[۴] finite diffrence
[۵] finite element
[۶] grid
[۷] aperture

سطح یک ترک، مجرد با مساحتهای پیوسته و جدا از هم در فشار طبیعی را نشان می دهد .



شکل۱-۱ :دو تصویر از یک ترک مجرد (سمت چپ)،که برابر با تصویر وسط می باشد ولی قسمتهای انتها بسته وحلقه های کوچک برداشته شده ،و شبکه برابر آن (سمت راست). ناحیه های تاریک نشان دهنده فضای خالی است .(مطابق با Billaux,۱۹۹۰ )

همچنین مشاهده شده که حتی اگر کانالهای انتها بسته [۱] و حلقه های کوچک کانالها در نظر گرفته نشود ، سیستمها یکی است . این شکل به ما می گوید هر ترک باید در یک شبکه ای از کانالهای معادل آن طراحی شود ،بنابراین ، محاسبه جریانها در یک کانال مجرد می تواند به شبکه آن ختم شود . ساختمان شبکه بستگی به مورفولوژی ترک و خصوصاً به توزیع سطح های پیوسته پیدا می کند . اطلاعات برای این خواص ویژه باید با دقت ( و بعضی از مواقع با سختی زیاد ) اندازه گیری شود موقعی که یک شبکه کانالی ساخته می شود ، محاسبات جریان در آن شبکه می تواند انجام گیرد .



شکل۱-۲ :شبکه دو بعدی از یک ترک مجرد ،و توزیع جریان در آن . ضخامت خطوط متناسب با جریان در آن است . Moreno'et.all(۱۹۸۸

شکل (۱-۲) پخش شار جریان در یک شبکه ایده ال دو بعدی از یک ترک مجرد را نشان می دهد، که اندازهٔ دهانهٔ ترکها مطابق توزیع لاگ نرمال [۲]توزیع شده است و توزیع دهانه ها همبستگی با یک کواریانس

---

[۱] dead –end channels
[۲] log-normal

فضائی که بصورت نمائی تنزل می یابد رادارد و ضخامت خطوط نشان دهنده میزان سیال عبوری از کانالها است . خواهیم گفت که نقشهٔ عبور سیال از یک ترک مجرد می تواند تئوری پرکولاسیون در یک شبکه را بیان می کند .

## ۱-۱) جریان در سنگ ترک دار

جریان در سنگ ترکدار بوسیله روشهای پیوستگی[۱] و هم مدلهای شبکه ای مطالعه شده است . روش پیوستگی در مدل چند تخلخله[۲] بطور زیادی به آن استناد شده است ، و صنعت نفت زیاد از آن استفاده کرده است. مدل شبکه ای می تواند بوسیله یک تقریب میانه – مؤثر [۳] مطالعه شود.

### ۱-۱-۱) روش پیوستگی: مدلهای چند تخلخله

اگر فرض شود که سیال تراکم پذیر است با فاکتور "c"[۴]
معادلهٔ حالت ( Muslat (۱۹۳۷

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{P}{P_0}\right)^m \exp[c(P-P_0)] \qquad (۱-۱)$$

$\rho_0, P_0$ در حالت استاندارد .
برای مایعات m=۰ ،برای گازها m=۱ ، برای فرایندهای همدمابرای فرایند آدیاباتیک $m = \frac{c_v}{c_P}$ برای مایع : m=۰ و فرض می کنیم سیال کمی تراکم پذیر [۵]است.
می توانیم قسمت توان نمائی معادله را بسط دهیم

$$\rho \cong \rho_0 + c\rho_0(P-P_0) \qquad (۱-۲)$$

و از طرفی دیگر با معادلهٔ پیوستگی و بکار بردن قانون دارسی می توان نوشت:

$$\phi \frac{\partial \rho}{\partial t} = \nabla \cdot \left(\frac{\rho k}{\mu} \nabla P\right) \qquad (۱-۳)$$

---

[۱] continuum
[۲] multi porositing
[۳] effective medium approximation
[۴] compressibility factor
[۵] slightly comperessible