بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشکده‌ی مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک**
**گروه مهندسی اکتشاف**

# بهبود مدل‌سازی شکستگی‌ها به روش *DFN*، مطالعه‌ی موردی: یکی از میادین نفتی جنوب‌غرب ایران

**الهام صحراگرد**

**اساتید راهنما:**
دکتر بهزاد تخم‌چی
دکتر حسین معماریان

**استاد مشاور:**
دکتر محمد کنشلو

**پایان نامه‌ی ارشد جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد**

**بهمن ۹۲**

شماره: ۴۶۹۳/۱۲۹۶
تاریخ: ۹۳/۱/۲۷
ویرایش:

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

## فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم الهام صحراگرد جونقانی رشته مهندسی نفت گرایش اکتشاف تحت عنوان "بهبود روش DFN در مدل‌سازی شکستگی‌ها، مطالعه موردی یکی از میادین جنوب غرب ایران" که در تاریخ ۱۳۹۲/۱۱/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول ( با درجه : بسیار خوب امتیاز ۱۸ ) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹ )
۲ـ بسیار خوب ( ۱۸/۹۹ ـ ۱۸ )
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ۱۶ )
۴ـ قابل قبول ( ۱۵/۹۹ ـ ۱۴ )
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

| عضو هیأت داوران | نام ونام خانوادگی | مرتبهٔ علمی | امضاء |
|---|---|---|---|
| ۱ـ استادراهنمای اول | دکتر بهزاد تخم‌چی | دانشیار | |
| ۲ـ استادراهنمای دوم | دکتر حسین معماریان | استاد | |
| ۳ـ استاد مشاور | دکتر محمد کنشلو | استادیار | |
| ۴ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی | دکتر امین روشندل کاهو | استادیار | |
| ۵ـ استاد ممتحن | دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی | دانشیار | |
| ۶ ـ استاد ممتحن | دکتر سید محمد اسماعیل جلالی | دانشیار | |

رئیس دانشکده : امضاء

دانشکده مهندسی و ژئوفیزیک
دانشگاه صنعتی شاهرود

**تقدیم به...**

مجموعه حاضر را پیشکش می‌کنم به آغازین معلمین خویش، مادر دل آگاهم، که واژه واژه زندگی را ایمان و امید معنا می‌کرد و حرف حرف غزل زیبای زندگی‌اش ترجمان فداکاری بود و پدر، که درس اخلاص و درستی را در عمل و مردانه، گام به گام به من آموخت... چه صبورانه و استوار.

با سپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم

موهایشان سپید شد تا ما رو سفید شویم

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند.

**پدرانمان**

**مادرانمان**

**استادانمان**

## تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش خداوندی را سزاست که کسوت هستی را بر اندام موزون آفرینش بپوشانید و تجلیات قدرت لایتزالی را در مظاهر و آثار طبیعت نمایان گردانید. بارالها! من با یاد تو، به تو تقرب می‌جویم و تو را به پیشگاهت شفیع می‌آورم. از تو خواستارم به کرمت، مرا به خود نزدیک‌تر گردانی و یادت را به من الهام کنی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته‌ای خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی‌ام واداری.

به رسم ادب و احترام، بر خود لازم می‌دانم از کلیه کسانی که بنده را در تدوین و نگارش این پایان‌نامه یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم، از **پدر و مادر مهربانم** که در تمامی مراحل انجام این تحقیق همواره حامی و آرامش بخش من بودند، از اساتید فرزانه **جناب آقای دکتر بهزاد تخم‌چی** و **جناب آقای دکتر حسین معماریان** که در کلیه مراحل انجام این پژوهش با خوشرویی، وقت خود را بی‌شائبه در اختیار من گذاشته و یاری و راهنمایی‌ام کردند، از استاد فرهیخته **جناب آقای دکتر محمد کنشلو** که با دقت نظر خاصی مشاوره لازم در این خصوص را ارائه نمودند. از خداوند بزرگ سلامتی و توفیق روزافزون این عزیزان را خواستارم.

# تعهد نامه

اینجانب **الهام صحراگرد** دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته **مهندسی اکتشاف نفت** دانشکده‌ی **معدن، نفت و ژئوفیزیک** دانشگاه شاهرود، نویسنده‌ی پایان‌نامه **بهبود مدل‌سازی شکستگی‌ها به روش *DFN*، مطالعه‌ی موردی: یکی از میادین نفتی جنوب‌غرب ایران**، تحت راهنمائی **دکتر بهزاد تخم‌چی** و **دکتر حسین معماریان** متعهد می‌شوم؛

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه شاهرود» و یا «*Shahrood University*» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه‌ی اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

**۱۳۹۲/۱۱/۲۷**

**الهام صحراگرد**


**مالکیت نتایج و حق نشر**

کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

شناسایی شکستگی‌ها و تراکم آن‌ها در مناطق مختلف مخزن، یکی از مهم‌ترین مراحل مطالعات مخزنی است. نتایج حاصل از مدل‌سازی شکستگی‌ها به عنوان داده‌های ورودی برای شبیه‌سازی جریان و تحلیل آن استفاده می‌شود. از این رو، مطالعه شبکه شکستگی‌ها برای آگاهی از نحوه‌ی گسترش شکستگی‌ها در مخازن شکسته و ایجاد مدلی برای آن، بسیار حائز اهمیت است. روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی شبکه‌ی شکستگی‌ها پیشنهاد و عرضه شده است که هر یک از آن‌ها دارای نقاط ضعف و قوت در روش‌های مورد استفاده در فرآیند آنالیز اطلاعات و مدل‌سازی شبکه‌ی شکستگی‌ها هستند. یکی از روش‌های مدل‌سازی شبکه شکستگی‌ها، مدل شبکه گسسته شکستگی (Discrete Fracture Network) است. مزیت این روش نسبت به مدل‌های شبکه‌ای، امکان ورود اطلاعات پیوسته در مدل گسسته است. مطالعات صورت گرفته در این پایان‌نامه به دو مرحله کلی تقسیم می‌شوند.

در مرحله اول این مطالعه با استفاده از داده‌های شکستگی ثبت شده توسط ابزارهای تصویرگر، شکستگی‌های یکی از میادین جنوب‌غرب ایران بررسی و مدل شبکه شکستگی‌های آن به روش DFN ساخته می‌شود. اما با توجه به ماهیت پیچیده شکستگی‌ها و کمبود داده‌های مرتبط با آن‌ها، مدل‌های حاصل همواره با عدم قطعیت همراه هستند.

مرحله دوم این تحقیق، استفاده از داده‌های حاصل از تفسیر چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی است. این داده‌ها قادر به تعیین زون‌های شکسته در محل چاه‌های فاقد چاه‌نمودار تصویری هستند. بنابراین می‌توانند با اضافه شدن به داده‌های شکستگی ثبت شده در محل چاه‌های دارای چاه‌نمودار تصویری، مدل‌سازی شبکه شکستگی را با قطعیت بالاتری حاصل کند.

به منظور این هدف، نتایج شدت شکستگی حاصل از مدل‌سازی مرحله اول، با شدت شکستگی حاصل از این اطلاعات مقایسه شد و فیلتری طراحی گردید که قادر بود با قطعیت بیشتری به مدل‌سازی زون‌های شکسته در موقعیت چاه‌های فاقد چاه‌نمودارتصویری بپردازد. در واقع مدل DFN

ساخته شده در مرحله اول، با شرطی شدن نسبت به اطلاعات زون‌های شکسته حاصل از تفسیر چاه-نمودارهای پتروفیزیکی، بازسازی شد. برای کمی‌سازی نتایج و مقایسه دو مدل، تابع هزینه‌ای تعریف گردید که با استفاده از آن، این نتیجه حاصل شد که مدل ساخته شده در مرحله دوم، نسبت به مدل اول نه درصد بهبود یافته است.

**کلمات کلیدی:** شکستگی، مخازن شکافدار، مدل‌سازی شکستگی‌ها، شبکه گسسته شکستگی‌ها، چاه‌نمودار تصویری، چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی، شدت شکستگی.

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

"ارزیابی نمودار شدت شکستگی در مدل‌سازی شکستگی‌ها با استفاده از نگارهای پتروفیزیکی" ، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، شاهرود.

## فهرست مطالب

### فصل اول: کلیات


۱- ۱ مقدمه ..... ۳

۱- ۲ تاثیرشکستگی‌ها بر عملکرد مخازن شکافدار ..... ۳

۱-۳ مروری بر مدل‌سازی‌های شبکه شکستگی‌ها ..... ۴

۱-۳-۱ مدل‌های هم‌ارز پیوسته ..... ۵

۱-۳-۲ مدل‌های ناپیوسته ..... ۸

۱-۳-۲-۱ مدل‌های شبکه گسسته شکستگی قطعی ..... ۸

۱-۳-۲-۲ مدل‌های هم‌احتمال گسسته ..... ۹

۱-۳-۳ مدل‌های ادغامی ..... ۸

۱-۳-۳-۱ مدل‌های ادغام‌کننده رویکردهای قطعی و هم‌احتمال ..... ۱۰

۱-۴ روش تحقیق ..... ۱۰

۱- ۵ ساختار پایان‌نامه ..... ۱۱


### فصل دوم: خصوصیات شکستگی‌ها و ابزارهای شناسایی آن‌ها


۲-۱ مقدمه ..... ۱۵

۲-۲ توصیف پارامترهای اصلی شکستگی منفرد ..... ۱۵

۲-۲-۱ عرض شکاف ..... ۱۷

۲-۲-۲ اندازه شکستگی ..... ۱۹

۲-۲-۳ جهت (چیدمان) شکستگی ..... ۱۸

۲-۳ توصیف پارامترهای توصیف سیستم شکستگی‌ها ..... ۱۹

۲-۳-۱ توزیع شکستگی‌ها ..... ۱۹

۲-۳-۲ واحدحجم بلوک ماتریکس ..... ۲۰
۲-۳-۳ چگالی و شدت شکستگی ..... ۲۲
۲-۴ مقیاس‌های توصیف مخزن ..... ۲۴
۲-۴-۱ مقیاس میکروسکوپی ..... ۲۳
۲-۴-۲ مقیاس مزوسکوپی ..... ۲۳
۲-۴-۳ مقیاس ماکروسکوپی ..... ۲۳
۲-۴-۴ مقیاس مگاسکوپی ..... ۲۵
۲-۵ منابع داده‌های توصیف مخازن شکافدار ..... ۲۴
۲-۵-۱ بررسی و مطالعات رخنمون ..... ۲۴
۲-۵-۲ آنالیز مغزه ..... ۲۵
۲-۵-۳ داده‌های لرزه‌ای ..... ۲۶
۲-۵-۴ چاه‌نمودارها ..... ۲۷
۲-۵-۴-۱ چاه‌نمودار فتوالکتریک ..... ۲۷
۲-۵-۴-۲ چاه‌نمودار قطرسنجی ..... ۲۸
۲-۵-۴-۳ چاه‌نمودارصوتی ..... ۲۸
۲-۵-۴-۴ چاه‌نمودارچگالی ..... ۳۱
۲-۵-۴-۵ چاه‌نمودارنوترون ..... ۳۱
۲-۵-۴-۶ چاه‌نمودار پرتو گاما ..... ۳۲
۲-۵-۴-۷ چاه‌نمودارهای تصویری ..... ۳۳

## فصل سوم: زمین شناسی منطقه مورد مطالعه و بررسی داده‌های موجود

۳-۱ مقدمه ..... ۳۹

۳-۲ حوضه زاگرس ..... ۴۰
۳-۲-۱ سیستم نفتی فروافتادگی دزفول ..... ۴۰
۳-۳ ابعاد میدان ..... ۴۱
۳-۴ سازند گچساران ..... ۴۳
۳-۵ سازند آسماری ..... ۴۳
۳-۵-۱ حوضه زاگرس ..... ۴۳
۳-۶ داده‌ها ..... ۴۶
۳-۷ تحلیل شکستگی‌ها ..... ۴۸
۳-۷-۱ نواع شکستگی‌ها و شکل آن‌ها در تصاویر FMI ..... ۴۸

## فصل چهارم: مدل‌سازی شبکه شکستگی‌ها

۴-۱ مقدمه ..... ۵۲
۴-۲ مدل شبکه گسسته شکستگی ..... ۵۳
۴-۲-۱ اهمیت مدل‌های جامع شبکه گسسته شکستگی ..... ۵۳
۴-۳ ساخت مدل شبکه گسسته شکستگی ..... ۵۹
۴-۳-۱ ساخت مدل زمین‌شناسی مخزن ..... ۵۹
۴-۳-۲ توزیع شکستگی‌ها در مخزن ..... ۶۰
۴-۳-۲-۱ ایجاد دسته‌های شکستگی ..... ۶۱
۴-۳-۲-۲ ساخت نمودار شدت شکستگی ..... ۶۴
۴-۳-۲-۳ بزرگ‌مقیاس کردن نمودار شدت شکستگی و آنالیز داده‌ها ..... ۶۶
۴-۳-۳ ساخت نقشه چگالی ..... ۶۹
۴-۴ استفاده از داده‌های حاصل از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی ..... ۷۸

## فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتایج ..... ۸۸
۵-۲ منابع ..... ۹۰

## فهرست شکل‌ها

**شکل۱-۱.** تقسیم‌بندی مخازن شکافدار توسط نلسون [۱] ..... ۳

**شکل۱-۲.** نمایش مدل‌های هم‌ارز پیوسته [۵] ..... ۵

**شکل۲-۱.** نمایش یک شکستگی در دو بعد [۲] ..... ۱۵

**شکل۲-۲.** نمایش یک شکستگی در سه بعد [۲] ..... ۱۵

**شکل۲-۳.** نمایش آمار پراکندگی اندازه دهانه در شکاف‌ها [۱۰] ..... ۱۷

**شکل۲-۴.** کاهش عرض شکاف به علت آزاد شدن فشار وارد بر سنگ [۱۰] ..... ۱۷

**شکل۲-۵.** نمایش سیستم‌های شکستگی با درجه شکستگی‌های متفاوت [۱۰] ..... ۲۰

**شکل۲-۶.** مثالی از شکستگی‌ها در بازه‌ای از چاه [۱۳] ..... ۲۲

**شکل۲-۷.** تصویری از رخنمون شکستگی‌ها [۲] ..... ۲۵

**شکل۲-۸.** نمونه‌ای از مغزه چاه با بازشدگی خوب [۲] ..... ۲۶

**شکل۲-۹.** پاسخ چاه‌نمودارهای فتوالکتریک، قطرسنجی و استونلی [۱۳] ..... ۳۰

**شکل ۲-۱۰.** نمونه‌ای از پاسخ چاه‌نمودار چگالی در برابر زون شکسته ..... ۳۱

**شکل۲-۱۱.** نمونه‌ای از پاسخ چاه‌نمودار نوترون در برابر زون شکسته ..... ۳۲

**شکل۲-۱۲.** نمونه‌ای از پاسخ چاه‌نمودار پرتو گاما در برابر زون شکسته ..... ۳۳

**شکل۲-۱۳.** مثالی از وجود شکستگی در چاه‌نمودار تصویری ..... ۳۵

**شکل۳-۱.** موقعیت جغرافیایی میدان گچساران [۱۸] ..... ۳۸

**شکل۳-۲.** نمایش دو بخش لیشتر و گچساران در میدان مورد مطالعه [۱۹] ..... ۴۱

**شکل۳-۳.** چینه شناسی زاگرس و سازند آسماری [۲۰] ..... ۴۴

**شکل۳-۴.** موقعیت چاه‌ها در میدان مورد مطالعه ..... ۴۶

**شکل۳-۵**. نمایش شکستگی‌های باز در چاه نمودار تصویری ..... ۴۸

**شکل۴-۱**. فرآیند شبیه‌سازی هم‌احتمال برای تولید مدل DFN ..... ۵۷

**شکل۴-۲**. نمایش پراکندگی شکستگی‌ها در هر چاه ..... ۶۱

**شکل۴-۳**. نمایش قطب کل شکستگی‌ها ..... ۶۲

**شکل۴-۴**. نمایش دسته‌های شکستگی مربوط به منطقه مورد مطالعه ..... ۶۲

**شکل۴-۵**. نمودار شدت شکستگی چاه‌های مورد مطالعه ..... ۶۴

**شکل۴-۶**. مقایسه نمودار شدت شکستگی برای چاه ۲۶۴ ..... ۶۵

**شکل۴-۷**. روش درون سلولی برای محاسبه شدت شکستگی [۲۷] ..... ۶۶

**شکل۴-۸**. روش ساده برای محاسبه شدت شکستگی [۲۷] ..... ۶۷

**شکل۴-۹**. روش سلول همسایه برای محاسبه شدت شکستگی [۲۷] ..... ۶۷

**شکل۴-۱۰**. مقایسه نمودارهای ستونی شدت شکستگی قبل و بعد از بزرگ مقیاس شدن ..... ۶۸

**شکل۴-۱۱**. نمایش چگونگی خمیدگی لایه هادر منطقه مورد مطالعه ..... ۷۰

**شکل۴-۱۲**. مدل رخساره ای منطقه مورد مطالعه ..... ۷۰

**شکل۴-۱۳**. نقشه پراکندگی شکستگی‌هادر فضای بین چاهی ..... ۷۱

**شکل۴-۱۴**. مقایسه نمودارهای ستونی شدت شکستگی بزرگ مقیاس شده ..... ۷۱

**شکل۴-۱۵**. نمایش مدل DFN در بازه اندازه ۴۰۰-۶۰۰واحد طول اندازه گیری ..... ۷۴

**شکل۴-۱۶**. نمایش مدل DFN در بازه اندازه ۶۰۰-۷۰۰ واحد طول اندازه گیری ..... ۷۴

**شکل۴-۱۷**. نمایش مدل DFN در بازه اندازه ۹۰۰-۱۰۰۰ واحد طول اندازه‌گیری ..... ۷۵

**شکل۴-۱۸**. نمودارهای ستونی زاویه شیب شبیه سازی شده در DFN و گمانه‌های موجود ..... ۷۵

**شکل۴-۱۹**. نمایش نمودار شدت شکستگی واقعی چاه ۲۴۵ در مقابل نمودار مدل‌سازی شده ..... ۷۶

**شکل۴-۲۰.** مقایسه زون‌های شکسته حاصل از چاه‌نمودارهای پتروفیزیکی با شکستگی‌های ثبت شده توسط چاه‌نمودارهای تصویری ..... ۸۰

**شکل۴-۲۱.** نمودار زون‌های شکسته در چاه ۲۶۴ ..... ۸۲

**شکل۴-۲۲.** مدل‌های DFN شماره ۱ و ۲ در یک باه ارتفاعی یکسان..... ۸۳

**شکل۴-۲۳.** اعتبارسنجی مدل بهبود یافته در مقایسه با مدل قبلی با استفاده از چاه ۲۴۵ ..... ۸۵

## فهرست جداول

**جدول ۲-۱.** منابع در دسترس میدان جهت محاسبه جهت شکستگی[۴] ..... ۱۶

**جدول ۲-۲.** منابع در دسترس میدان جهت محاسبه اندازه شکستگی[۲] ..... ۱۹

**جدول ۲-۳.** منابع در دسترس میدان جهت محاسبه چگالی شکستگی[۲] ..... ۲۲

**جدول ۳-۱.** موقعیت چاه‌ها در میدان مورد مطالعه ..... ۴۷

**جدول ۳-۲.** اطلاعات شکستگی مربوط به چاه‌ها ..... ۴۹

**جدول ۴-۱.** پارامترهای واریوگرام برازش شده به داده‌ها ..... ۶۹

**جدول ۴-۲.** زون‌های شکسته و تعداد شکستگی‌ها در هر زون چاه ۳۱۴ ..... ۷۹

# فصل اول؛

# کلیات

## ۱-۱ مقدمه

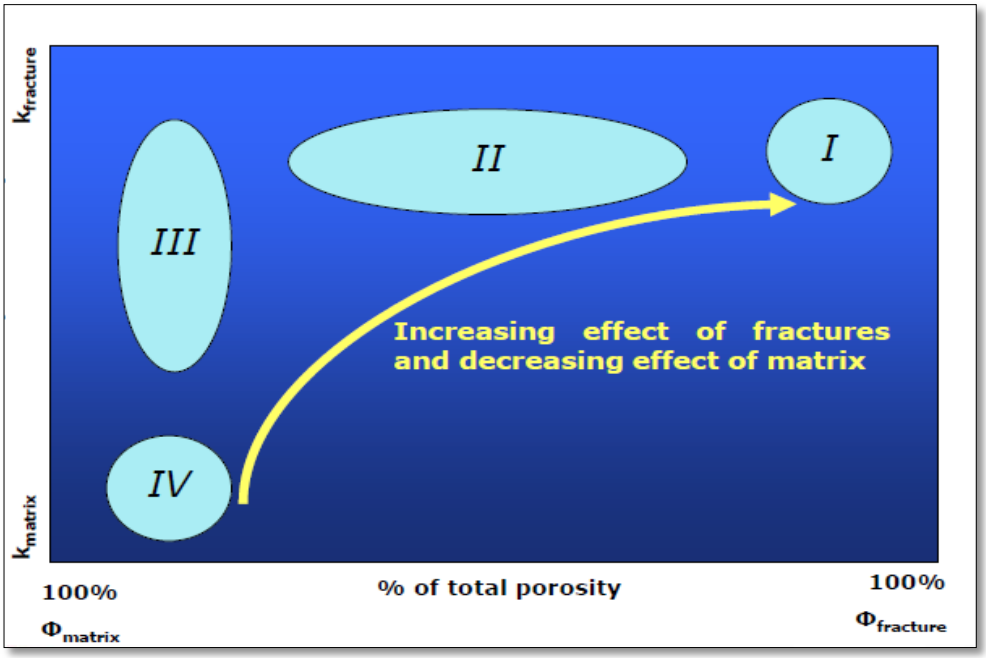
درصد قابل ملاحظه‌ای از ذخایر هیدروکربوری جهان در مخازن شکسته طبیعی جای گرفته‌اند. از این-رو مدل‌سازی مخازن شکافدار از اهمیت خاصی برخوردار است. حضور شکستگی‌های طبیعی در مخازن شکافدار مسیرهای پیچیده‌ای برای عبور جریان سیال ایجاد می‌کنند که باعث تحت تاثیر قرار دادن خصوصیات مخزن، عملیات تولید، حفاری و بازیابی کلی می‌شوند. بنابراین، شناخت صحیح از شبکه شکستگی‌ها و نحوه توزیع آن‌ها، در رویارویی با منابع زیرزمینی شکافدار کمک شایانی به بهینه-سازی عملیات حفاری، تولید و بهره‌برداری می‌کند. برای مثال با شناسایی مناطقی که دارای چگالی شکستگی بالایی هستند، چاه‌ها در محلی حفر خواهند شد که باعث اتصال شکستگی‌های هدایت کننده‌ی جریان سیال شوند. همچنین آگاهی از جزئیات دیگر شکستگی‌ها از جمله اندازه، جهت‌یابی و چگونگی اتصال، در مدل‌سازی صحیح جریان سیال ضروری است.

## ۱-۲ تاثیر شکستگی‌ها بر عملکرد مخازن شکافدار

بنابر دسته‌بندی نلسون (۲۰۰۱) مخازن شکسته طبیعی در چهار گروه جای می‌گیرند [۱]. همان‌طور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، در مخازن نوع اول شکستگی‌ها تامین‌کننده اصلی نفوذپذیری و تخلخل سنگ هستند. در مخازن نوع دوم، تخلخل ماتریس بیشتر از شکستگی‌ها است اما شکستگی‌ها تراوایی اصلی مخزن را تامین می‌کنند. در مخازن نوع سوم، تراوایی ماتریس نسبتاً بالا بوده و شکستگی‌ها باعث افزایش بیشتر ذخیره سیال می‌شوند. گروه چهارم مخازنی هستند که شکستگی‌های موجود در آن‌ها توسط مواد معدنی پر شده‌اند. در این مخازن، وجود شکستگی‌ها در افزایش تخلخل و تراوایی تاثیری ندارد و فقط باعث ناهمگنی مخزن و تقسیم سازند به بلوک‌های کوچک می‌گردد.

بنابراین شکستگی‌ها هم می‌توانند باعث افزایش تراوایی مخزن شوند و تاثیر قابل توجهی بر

بهره‌برداری از چاه و افزایش راندمان برداشت داشته باشند، هم باعث ایجاد موانعی برای جریان یافتن سیال و کاهش میزان بازیابی از چاه شوند [۲].




**شکل ۱-۱.تقسیم‌بندی مخازن شکافدار توسط نلسون [۱].**

## ۱-۳ مروری برمدل‌سازی‌های شبکه شکستگی‌ها

شکستگی سنگ، حاصل فرآیند پیچیده‌ای است که عموماً در اثر اعمال تنش بیش از حد تحمل سنگ به وجود می‌آید. در این حالت، سنگ در امتداد ضعیف‌ترین صفحه خود پیوستگی‌اش را از دست می‌دهد و دچار شکستگی می‌گردد [۳].

اکثر سنگ‌ها به طور همزمان و متوالی دستخوش رویدادهای تغییر شکل می‌شوند که در نهایت سیستم‌های شکستگی بسیار پیچیده‌ای تشکیل می‌شود. شکستگی‌ها ترک‌هایی به کوچکی چند میلی‌متر تا گسل‌هایی به وسعت چند کیلومتر را در برمی‌گیرند. دیگر خصوصیات شکستگی‌ها مثل جهت شیب و بازشدگی نیز بسیار متفاوت هستند. علاوه بر این، منابع داده‌های شکستگی قدرت

تفکیک و شعاع بررسی مختلفی دارند و هیچ‌یک به تنهایی قادر به فراهم کردن همه اطلاعات مورد نیاز برای توصیف مخازن شکافدار طبیعی نیستند. بنابراین برای به تصویر کشیدن ویژگی‌های چندجانبه شکستگی‌های طبیعی، روشی مورد نیاز است که قادر به ادغام کلیه منابع موجود مثل اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، پتروفیزیکی و حفاری باشد [۴].

با وجود ارائه مدل‌ها و رویکردهای متفاوت در زمینه مطالعه شبکه شکستگی‌ها در مخازن شکافدار، هنوز هم بحث‌های چالش برانگیزی در پیش‌بینی جریان سیال از طریق شکستگی‌ها مطرح است. روش‌های متفاوتی برای سرشت‌نمایی مخازن شکسته طبیعی و شبیه‌سازی جریان سیال وجود دارند که به سه دسته عمده تقسیم می‌گردند: مدل پیوسته هم‌ارز، مدل گسسته و مدل‌های ادغامی [۵].

در مدل‌های پیوسته، منطقه موردمطالعه به بلوک شبکه‌بندی شده تقسیم می‌شود. شکستگی‌ها به صورت مستقل عمل نمی‌کنند و خصوصیات آنها در هر بلوک میانگین‌گیری می‌شوند. اما در مدل‌های گسسته، شکستگی‌ها به‌صورت مستقل و با توجه به خصوصیاتشان شبیه‌سازی می‌شوند. از سوی دیگر مدل‌های ادغامی پیشرفته‌تری برای شبیه‌سازی مخازن ناهمگن شکافدار وجود دارند که قادرند از کلیه داده‌ها با مقیاس‌های مختلف استفاده کنند. این روش‌ها، رویکردهای قطعی و تصادفی را با هم ترکیب می‌کنند و در هر دو مدل پیوسته و گسسته وجود دارند.

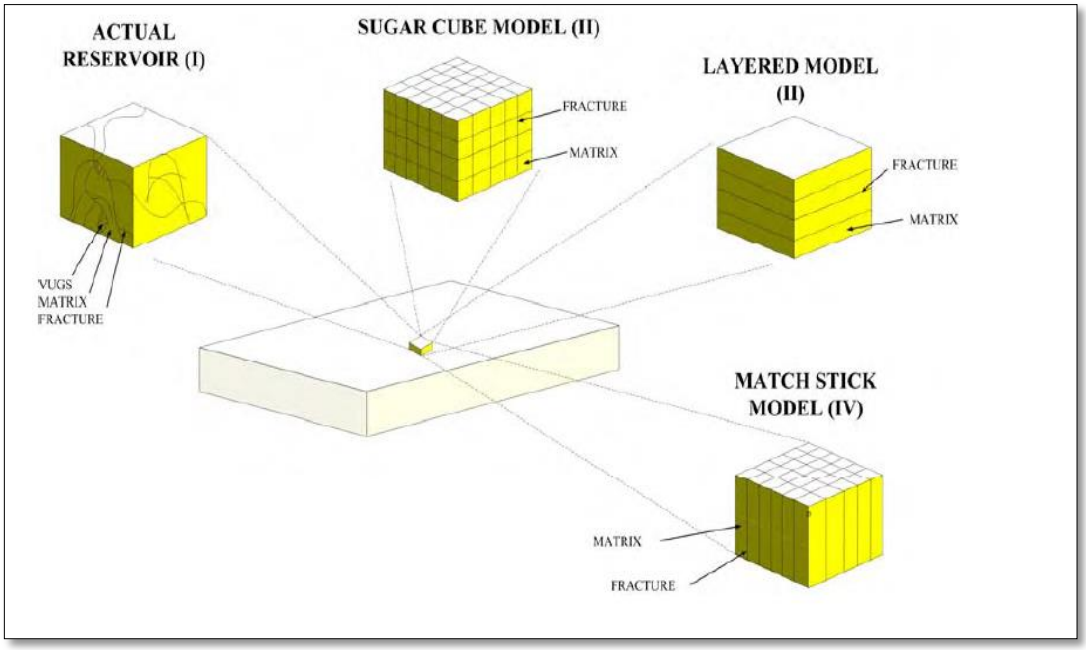
### ۱-۳-۱ مدل‌های هم‌ارز پیوسته

اغلب مدل‌های ریاضی و ژئومکانیکی که برای شبیه‌سازی شبکه شکستگی و جریان سیال در آن‌ها استفاده می‌شوند، مدل‌های هم‌ارز پیوسته هستند. مدل تخلخل منفرد[1]، مدل پیوسته تخلخل دوگانه[2]،

[1] Single Porosity
[2] dual porosity

مدل تراوایی دوگانه[1] و مدل پیوسته تطابقی[2] در این گروه جای می‌گیرند.

در مدل‌های هم‌ارز پیوسته، مخازن شکافدار به تعداد محدودی بلوک شبکه‌بندی شده تقسیم می‌گردند. در مدل‌های تخلخل منفرد، جریان سیال صرف نظر از تراوایی ماتریس فقط به شکستگی‌های باز و متصل به هم نسبت داده می‌شود. هر بلوک با تخلخل یکسانی که میانگین همه شکستگی‌های موجود در آن بلوک است، مشخص می‌گردد. در تخلخل دوگانه - تراوایی دوگانه نیز نمایش مشابهی به کار می‌رود. در این مدل‌ها، ماتریس و شکستگی به عنوان دو محیط متخلخل هم-تداخل در نظر گرفته می‌شوند و معادلات جریان سیال در محیط‌های متخلخل برای تخمین تخلخل و تراوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های حبه‌قندی[3]، لایه‌ای[4] و چوب‌کبریتی[5]، سه مدل شاخص ایده‌ال‌سازی سیستم شکستگی‌ها هستند (شکل ۱-۲).




**شکل۱-۲.نمایش مدل‌های هم‌ارز پیوسته [۵].**

[1] dual permeability
[2] interacting
[3] Sugar cube
[4] layered
[5] matchstick