Naturally Fractured Reservoirs

Specific Features of Carbonate Fracture Reservoir

Shahab Gerami, Fall 2010

Naturally Fractured Reservoirs

- Naturally fractured reservoirs occur worldwide.

- Although fractured reservoir are scattered throughout the world, one of the areas where the highest concentrations of reserves of this type can be found, is in south-west Iran and east to north of Iraq.

- The oil in place in the Middle East fractured reservoirs represents 25-30 % of the total oil in place in that region. This percentage may well represent the contribution of fractured reservoirs to the total oil in place on a world wide scale (Saidi 1987).

- About 90% of Iranian reservoirs are fractured reservoirs.

Fracture, Fracture Set, Fracture Network?

➢A fracture is a surface of discontinuity of mechanical origin. The fracture is the failure of a rock (= deformation) resulting from applied forces (= stress).

➢ A fracture is characterized by its attributes (dip, strike, length, aperture, morphology and origin)

➢A fracture set (or fracture family) is a set of fractures with similar attributes

➢The fracture network involves the description of the fracture attributes and investigates the relationship between the different fracture sets.

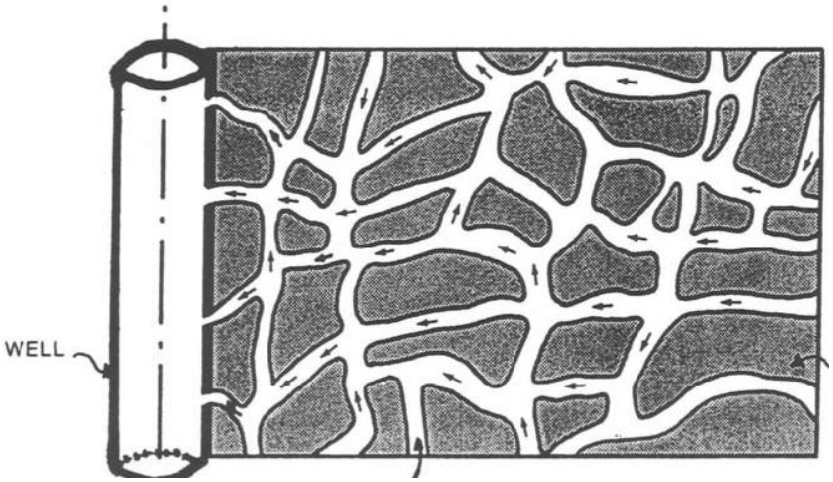
➢The fracture network is characterized by the spatial properties of fractures, such as the number of fracture sets, their relative fracture density, the fracture connectivity.

What is a fractured reservoir?

For geologists:
A fractured reservoir is first and foremost a reservoir with structural discontinuities resulting from a given paleostress history.

For reservoir engineers:
A fractured reservoir is first and foremost a reservoir with structural discontinuities affecting flows.

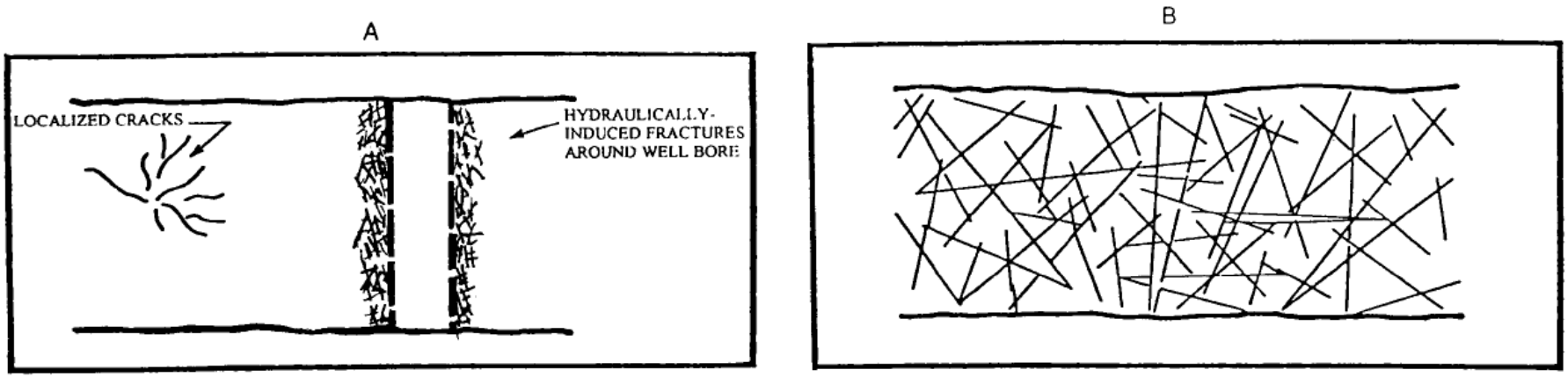
[R.A. Nelson, in Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs, Quotes:
" A fractured reservoir is defined as a reservoir in which naturally occurring fractures either have, or are predicted to have, a significant effect on reservoir fluid flow either in the form of increased reservoir permeability and/or porosity or increased permeability anisotropy" **]**



Carbonate Fracture Reservoir

➢A carbonate reservoir is defined as being "fractured" only if a continuous network of various degrees of fracturing is distributed throughout the reservoir. Such fractures formed naturally during the specific geological circumstances of reservoir history.

➢On the other hand, the presence of some dispersed fractures induced by engineering stimulations in a carbonate rock will never transform a carbonate reservoir into a natural "fractured carbonate reservoir"



Carbonate reservoir: (a) artificially fractured; (b) naturally fractured.

Identification of a Continuous Fracture Network in Carbonate Reservoirs

(1) Significant mud losses during drilling operations,
(2) Special behavior of transient pressure analysis (e.g., double-slope curves),
(3) Cores examination, etc.

The true confirmation of the fractured character of a given reservoir results from certain specific features observed during the initial stage of field discovery as well as during the field development and production phase.

Full-diameter whole core compared to plug-size sample (round hole to the left) for fractured rocks. Plug size is 2.5 cm (1 in.) diameter.

RESERVOIR CLASSIFICATION SCHEMES

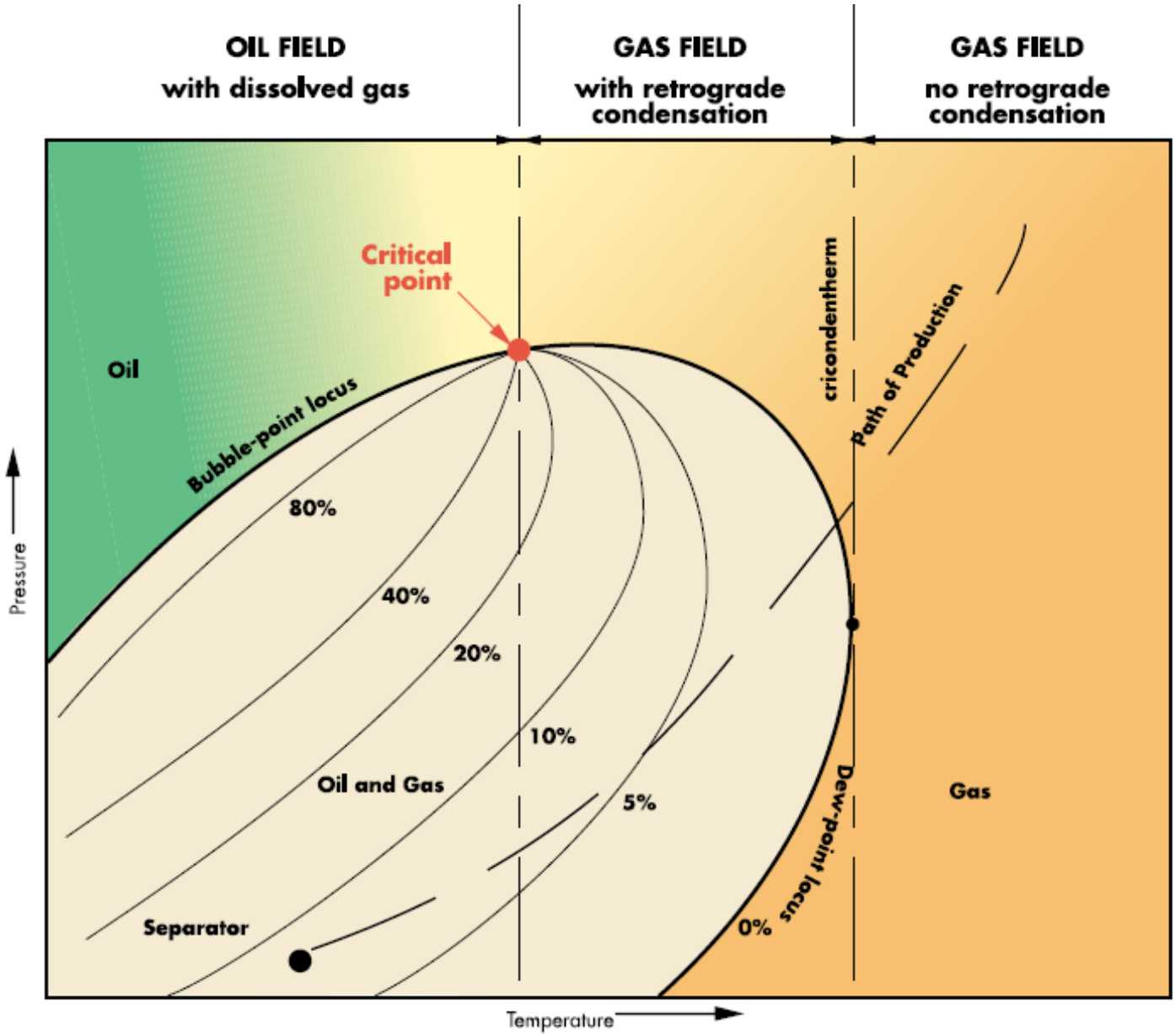
(1) fluid composition in the reservoir

(2) type of available reservoir energy (drive mechanism)

(3) type of pore system

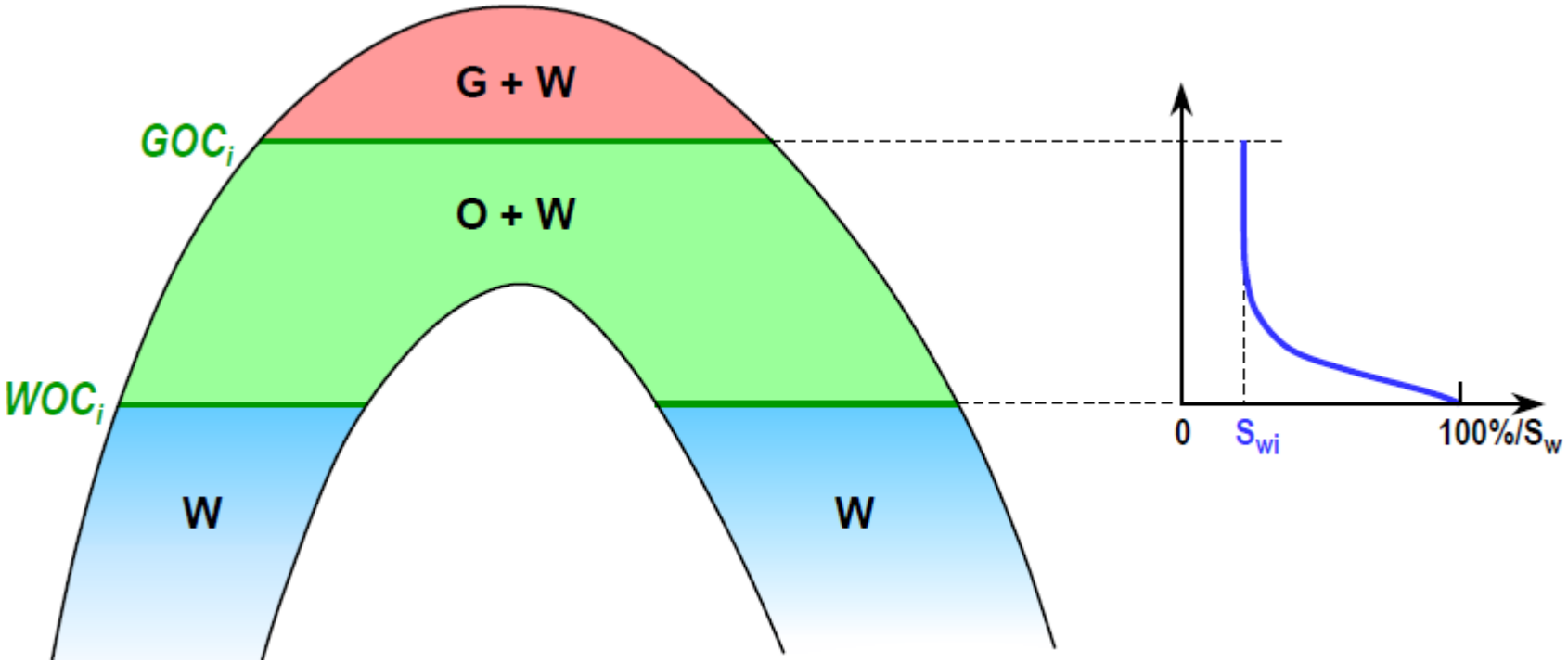
(4) geological nature of the reservoir

Generalized P-T diagram of a gas and oil



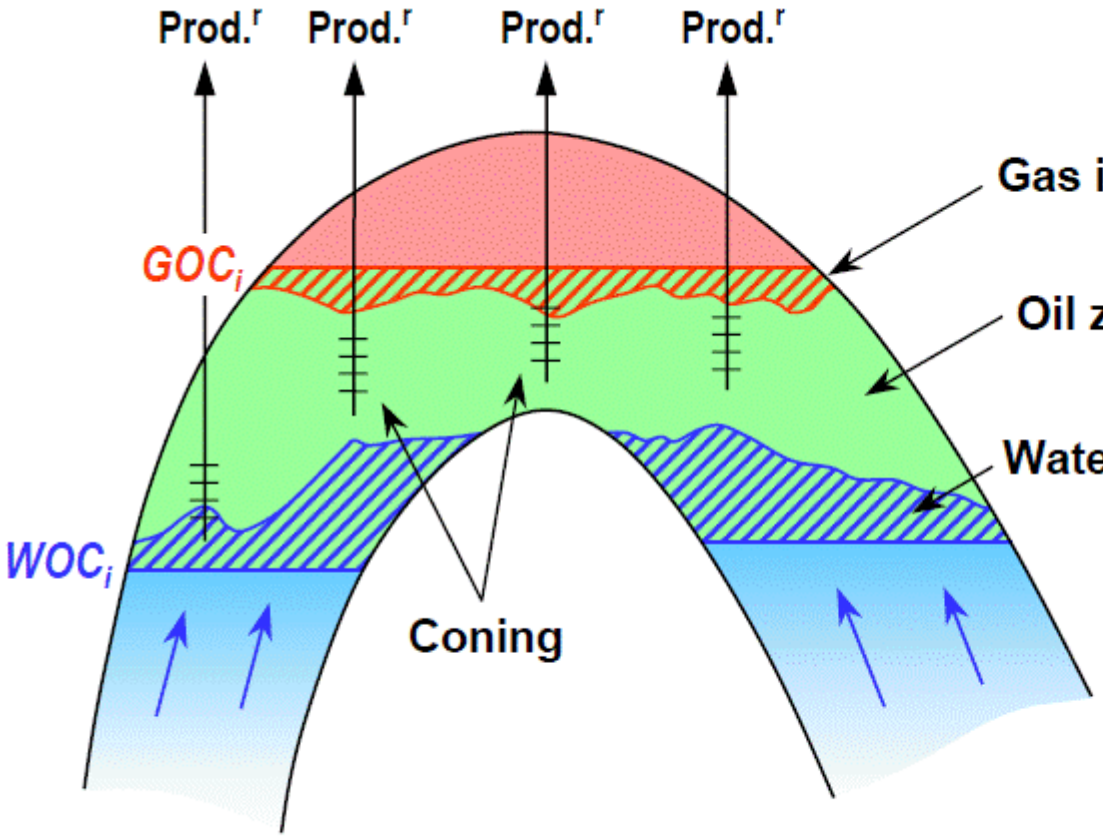
Conventional Oil Reservoirs

Production Mechanisms- Initial Conditions



Conventional Oil Reservoirs

Production Mechanisms Status During Development



Gas invaded zone : S_{org}, k_{rog}

Oil zone : S_{oi} ($P_{CDr.}$)

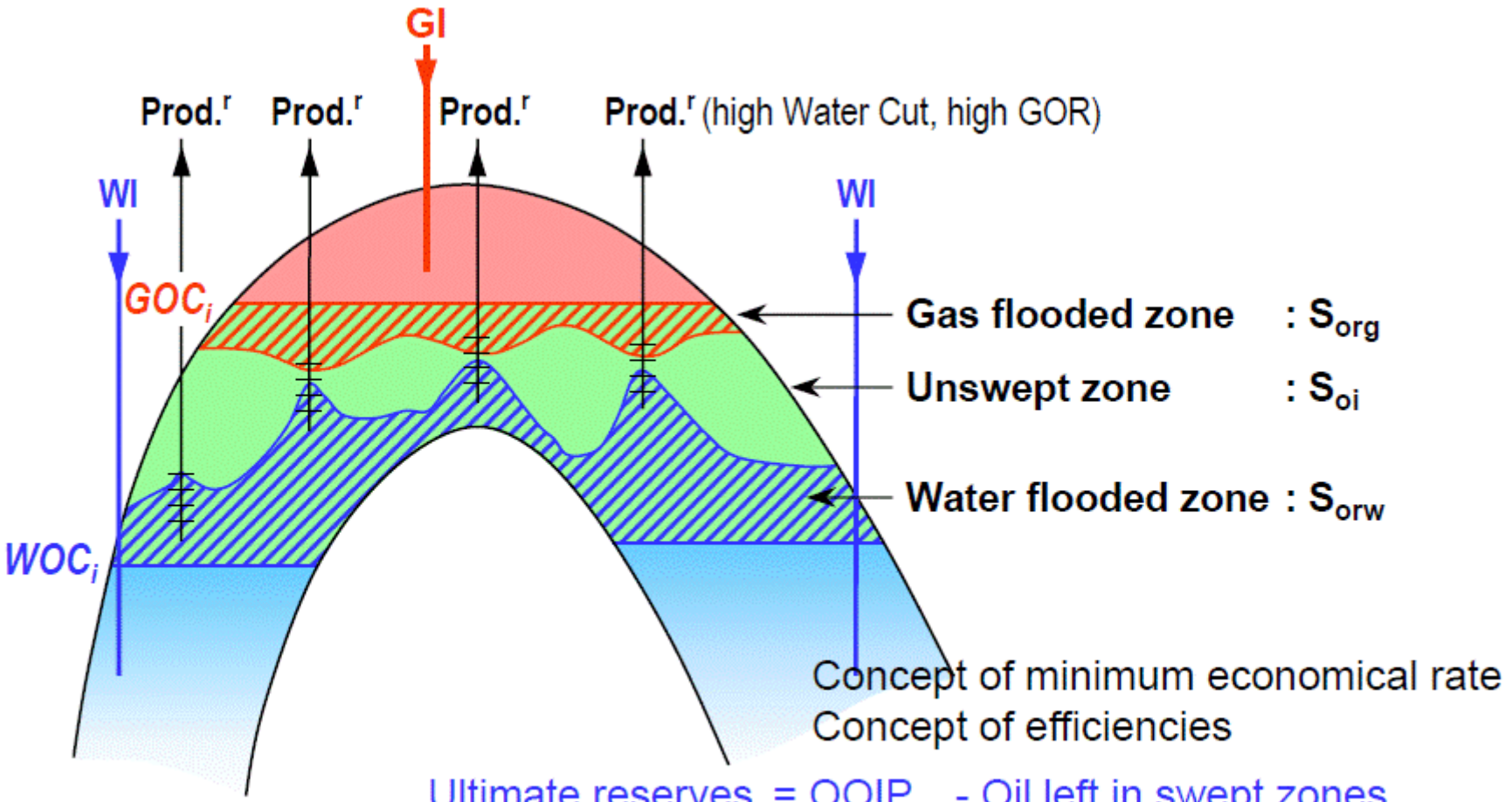
Water invaded zone : S_{orw},k_{row}

At t

- $N_p = \sum^{t} \sum^{n} q_{oi}$
- $\overline{P_r} < P_i$
- Saturation changes
- X phase flow (O, W, G)
- End saturation

Conventional Oil Reservoirs

Production Mechanisms Status at Abandonment Conditions



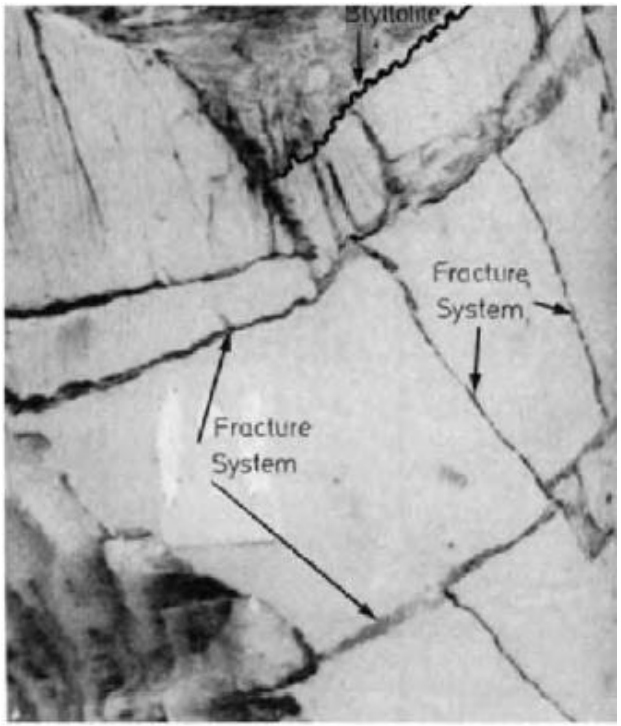
Concept of minimum economical rate

Concept of efficiencies

Ultimate reserves = OOIP - Oil left in swept zones
- Oil left in Unswept zone
= $N_1 + N_2 + N_3$

Why fractured reservoirs behave differently and need to be treated differently ?

- High permeability – low porosity fractures in a low permeability - higher porosity matrix provides the mechanism for recovery of hydrocarbons. However, this dual-porosity system adds a measure of complexity that is absent in conventional reservoirs. The production characteristics of fractured reservoirs differ from those of conventional reservoirs in several fundamental ways.

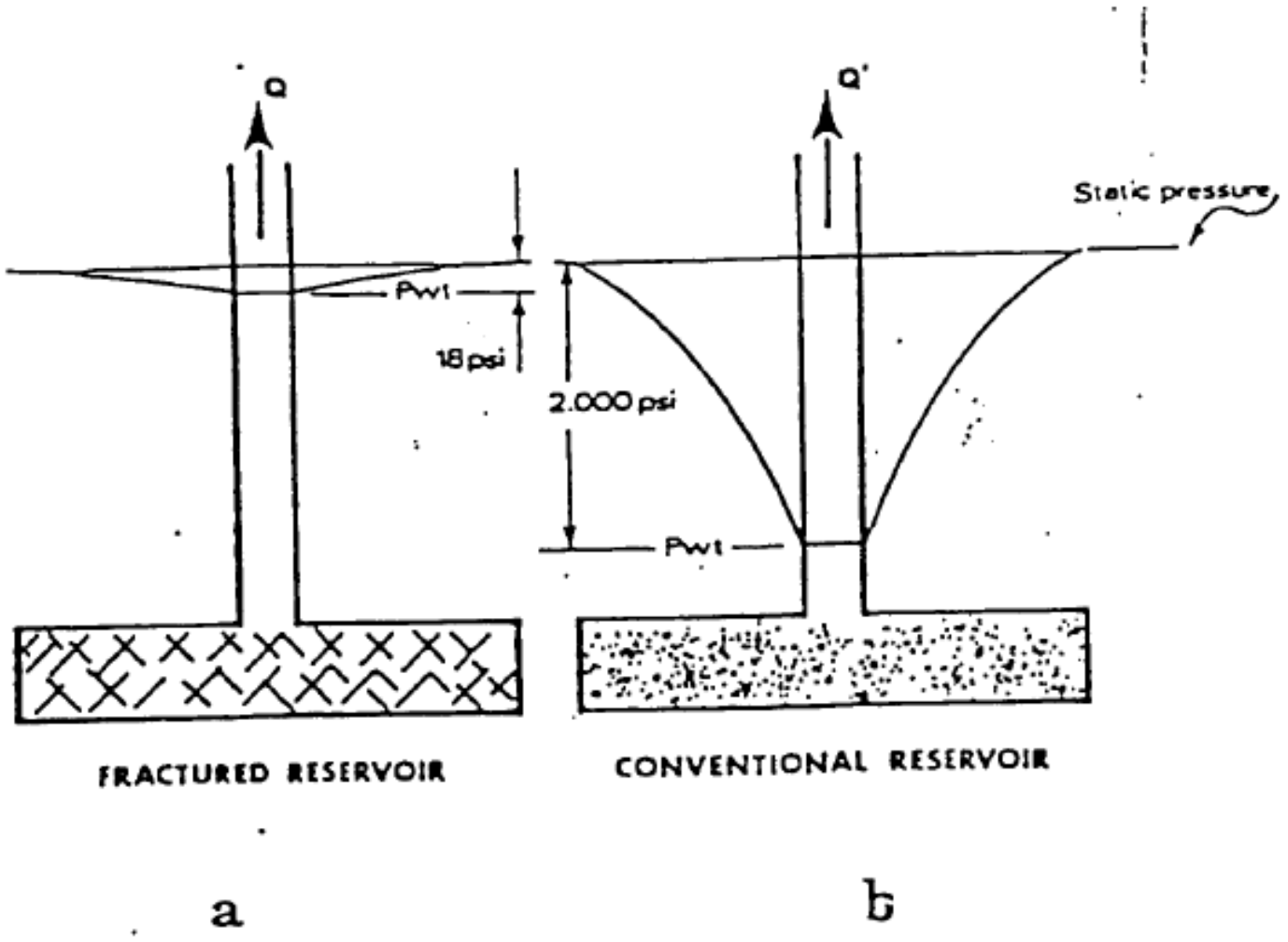


http://javanan.mop.ir/

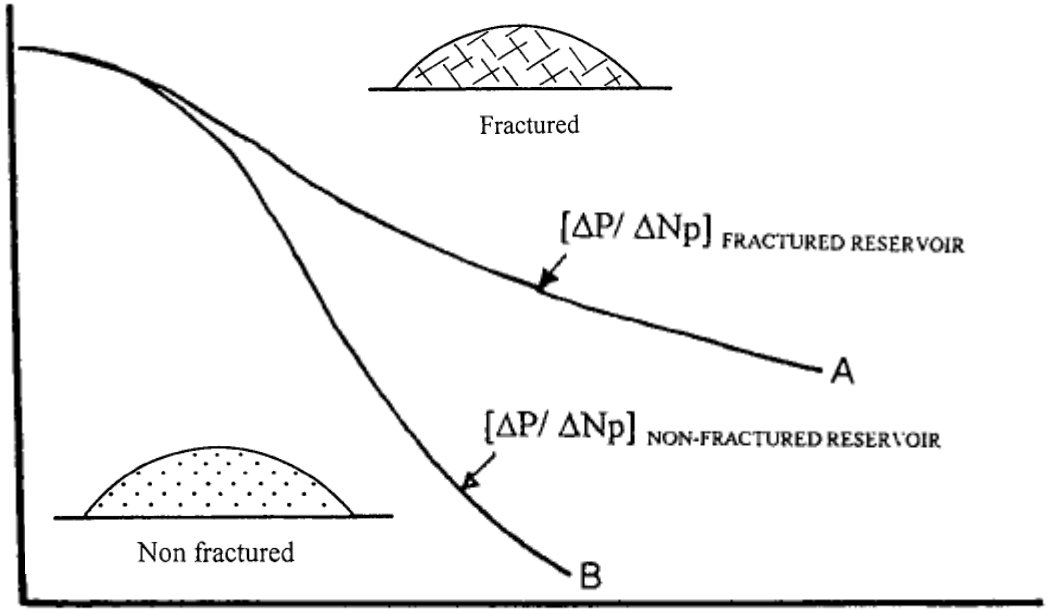
An outcrop of the fractured Asmari limestone (Early Miocene) in south-west Zagros; this is a major carbonate reservoir in the Zagros foreland basin. Source: S. Tabrizi

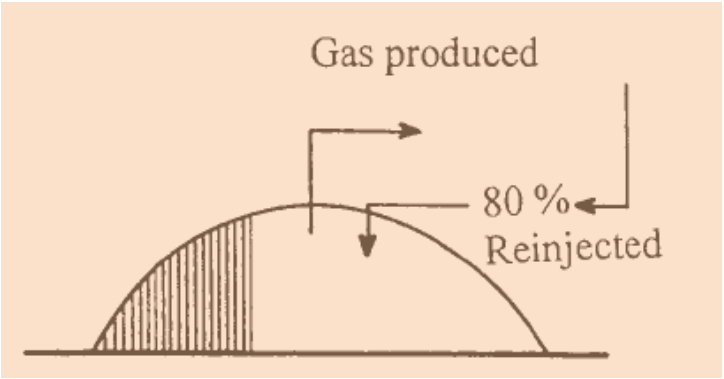
Sarvak Formation in Tange Chenarbashi NE of Kabir Kuh

1. Because of the high transmissivity of the fracture network, pressure drop around a producing well is very low and pressure gradients do not play a significant role in production. Production is driven instead by complex mechanisms that govern fracture/matrix-block communication.



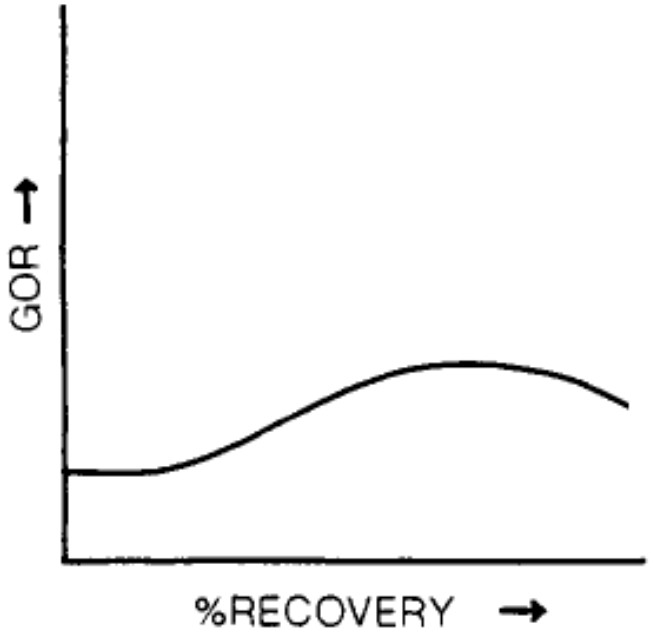
2. In fractured reservoirs with some matrix permeability, the pressure decline per barrel of oil produced is low compared to conventional reservoirs. This occurs because fluid expansion, gravity drainage, and imbibition provide a continuous supply of oil from matrix blocks into the fractures during production.



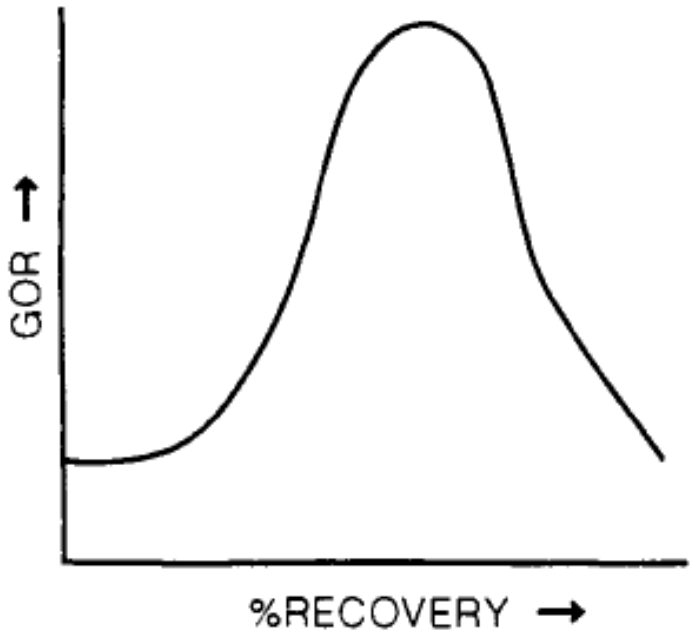


Pressure decline becomes equivalent to fractured pressure decline if 80% of gas produced is reinjected into the reservoir.

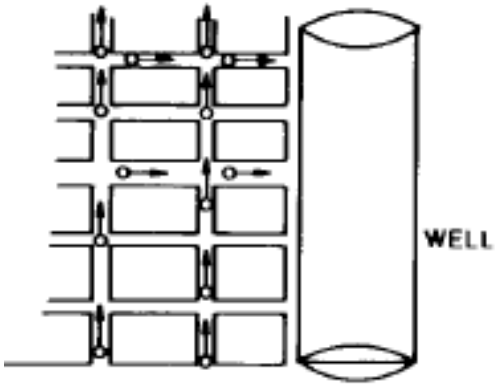
3. The GOR of fractured reservoirs normally remains lower throughout production, if the reservoir is properly managed. This occurs because liberated gas flows preferentially upward through fractures to the top of the reservoir rather than horizontally toward the nearest well bore as in a conventional reservoir. The liberated gas creates a secondary gas cap, or expands an existing gas cap, and the gas content of produced oil is lowered accordingly.



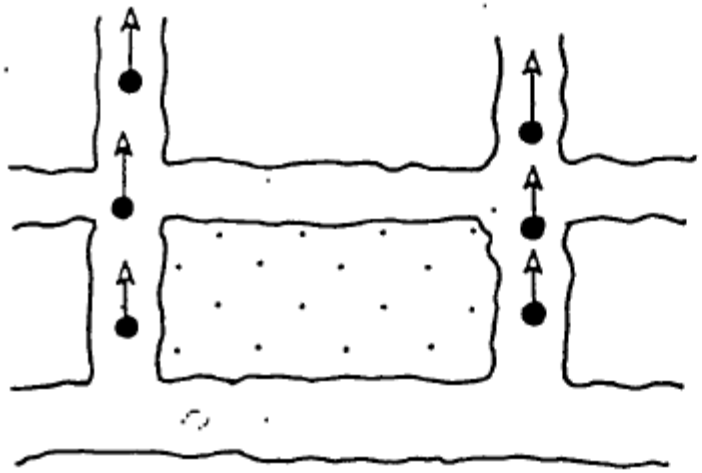
A



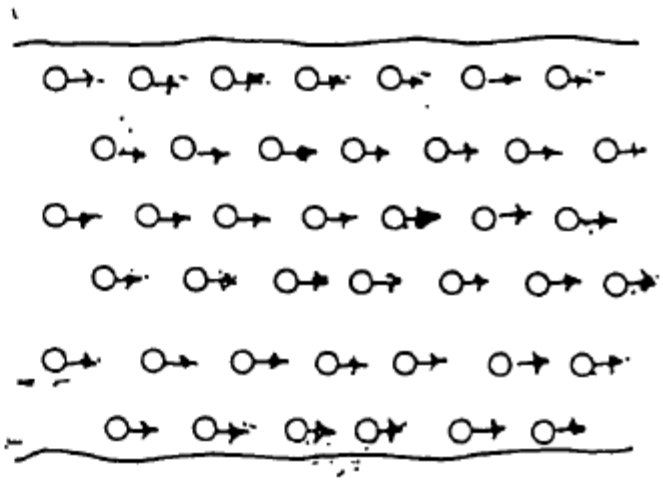
B



GAS CAP

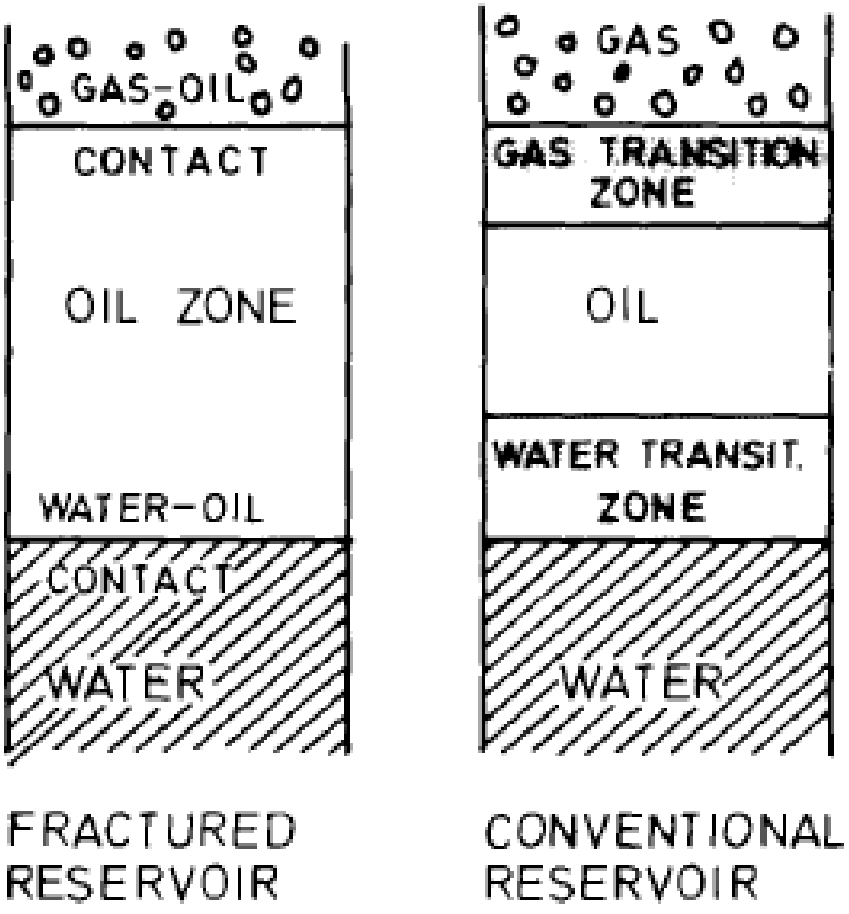


a

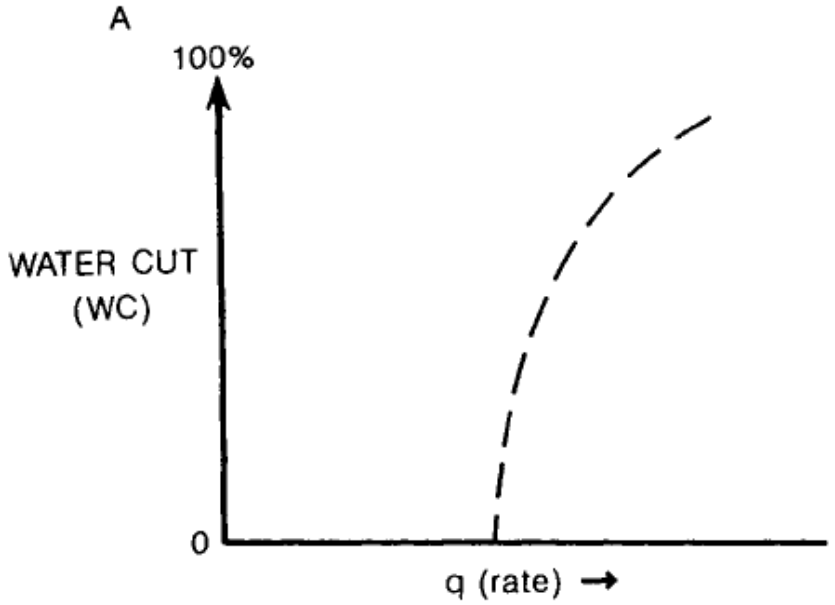


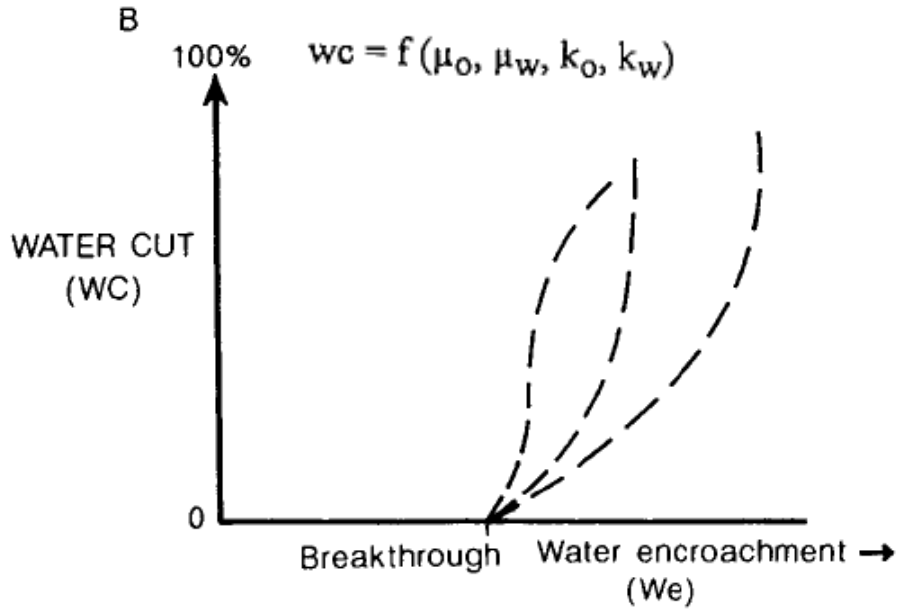
b

4. Fractured reservoirs lack transition zones. The oil-water and gas-oil contacts are knife-sharp surfaces, both prior to and during production, since the high permeability of the fracture network provides a mechanism for rapid re-equilibration of fluid contacts.

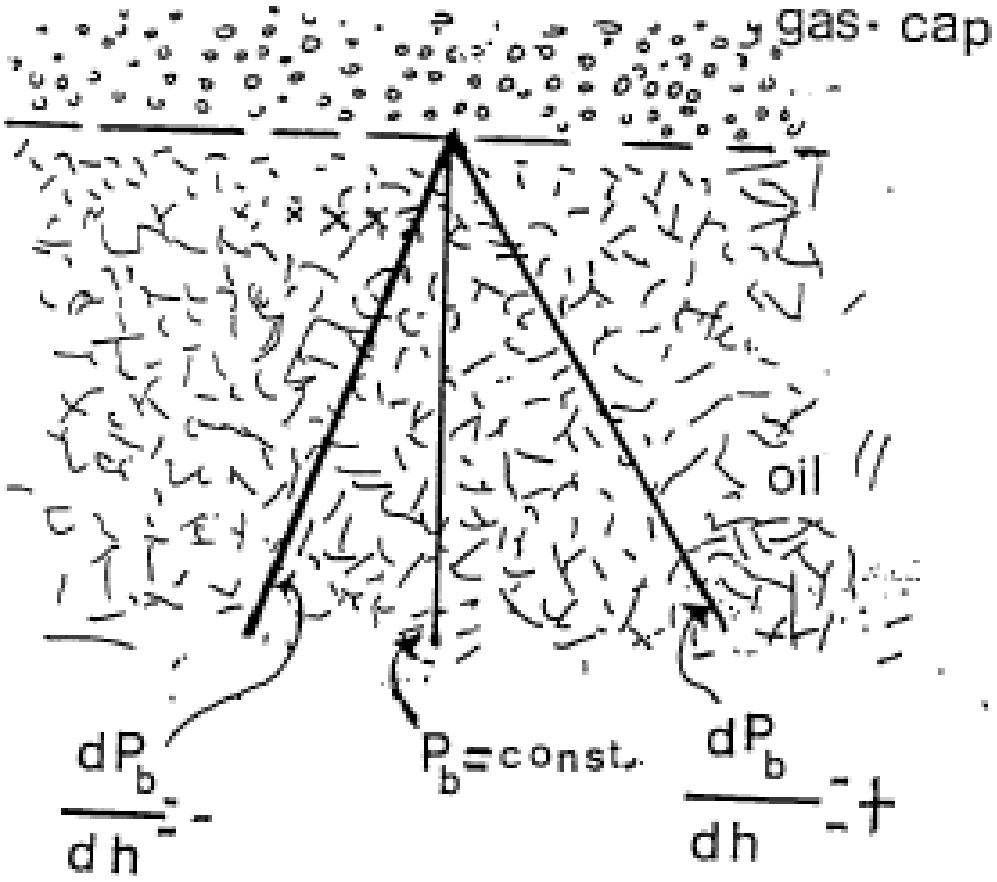


5. Water cut in fractured reservoirs is strictly a function of production rate. The petrophysical characteristics of the reservoir rocks and the PVT properties of the fluids have insignificant effect on water production.





6. Convective circulation occurs during the production of many fractured reservoirs. As a result, PVT properties are constant throughout a fractured reservoir, compared to a conventional reservoir where bubble point varies as a function of depth within the oil column.



ضمایم

سازند های مناطق نفت خیز جنوب

۱)سازند بختیاری: این سازند متشکل از کنگلو مرای چرتی و سنگ های سلیسی و ماسه سنگ های دانه درشت سیلیسی است. این سازند در کوهستان های زاگرس قابل مشاهده است ولی در دشت خوزستان از بین رفته است. حفاری در این سازند معمولا با آب و مته های دندانه بلند صورت می گیرد.

۲)سازند آغاجاری: این سازند حاوی مارنهای قرمز،ماسه سنگ های آهکی ، مارنهای خاکستری رنگ و گاهی لایه های نازک آهک می باشد که معمولا با آب و به وسیله مته های دندانه بلند حفار ی می گردد. با وجود بزرگی قطر دهانه چاه در این سازند بیشترین متراژ حفاری نسبت به زمان به دست می آید.

۳)سازند میشان: این سازند از مارنهای خاکستری و آهک های مارنی تشکیل شده است.
معمولا سازند های بختیاری،آغاجاری، میشان و بخش هفتم سازند گچساران جزء سازند های کم فشار هستند. بطور کلی آب شیرین و گاهی محلول آب نمک به عنوان گل استفاده می شود و مقدار PHگل برای جلوگیری از خورندگی اکسیژن موجود در آب باید بین ۱۰ تا ۱۱ باشد. از آنجایی که این سازندها کم فشار هستند از گل با وزن حدود ۷۵ pcf استفاده می کنند.

۴)سازند گچساران: این سازند شامل انیدرید ($CaSO_4$)، نمک طعام، مارنهای خاکستری و قرمز، طبقات نازکی از آهک و شیل های بیتومین دار می باشد. مشکلات حفاری در این سازند فراوان و گاهی غیر قابل پیش بینی می باشد. این سازند از ۷ بخش تشکیل شده است که بالاترین بخش آن بخش هفتم آن است و جزء منطقه کم فشار محسوب می شود.

الف)بخش هفتم: این بخش شامل انیدرید، مارنهای خاکستری و آهک های رسی است. این بخش کم فشار بوده و مشخصات حفاری آن مانند سازند های آغاجاری و میشان است.

ب)بخش ششم: این بخش شامل انیدرید، مارنهای قرمز و خاکستری و همچنین نمک است. سر این بخش مترادف است با آغاز منطقه منطقه پر فشار.به همین علت ۱ تا ۲متری قاعده بخش هفتم به عنوان نقطه جداره گذاری (casing point)انتخاب می شود. بدین ترتیب زونهای کم فشار بالایی از زونهای پر فشار پایینی مجزا می شوند.

ج)بخش پنجم: این بخش شامل انیدرید و مارن های خاکستری و نمک می باشد.

د) بخش چهارم:این بخش شامل نمک، مارنهای خاکستری وانیدرید می باشد. از مشخصات عمده این بخش فوران آب نمک و تنگ شدگی چاه می باشد.

و)بخش سوم: این بخش شامل مارن های خاکستری، انیدرید و گاهی لایه های نازکی از نمک می باشد. این بخش به علت در بر داشتن لایه های مارن ضخیم موجب بروز مشکلات فراوانی در حین عملیات حفاری می باشد.

ه)بخش دوم: این بخش کاملا شامل نمک می باشد ولی در آن انیدرید و مارن نیز یافت می شود.

ی) بخش اول: این بخش شامل انیدرید، مارن و آهک به صورت متناوب می باشد. این بخش به عنوان پوش سنگ (Cap Rock)سازند آسماری شناخته می شود. این بخش به عنوان آخرین بخش از سازند گچساران محسوب می شود.

بهترین نوع مته برای حفاری سازند گچساران از بخش ششم تا پوش سنگ مته الماسه (Diamond Bit)میباشد. مته های دندانه دار(Roller Cone Bit)به سختی قادر به حفاری این سازند هستند. البته مته های PDCنیز پیشرفت خوبی را در حفاری این سازند نشان داده اند.

سازند گچساران به علت هایی چون سنگ شناسی و متشکل بودن از نمک، مارن، و همچنین دارا بودن زونهای پر فشار از آب می بایستی با گل سنگین جهت جلو گیری از فوران چاه و اشباع از نمک برای جلوگیری از حل شدن نمک در گل و ایجاد غار در دیواره چاه ، حفاری شود. وزن گل در حفاری این سازند در حدود ۱۴۰ pcfمیباشد. PHگل در این سازند را بین ۹تا ۱۰ نگه می دارند.

۵) سازند آسماری: این سازند که مخزن اصلی نفت محسوب می شود اکثرا شامل آهک(limestoneو دولومیت بوده و لی در میدان اهواز بخش ماسه سنگی نیز در آسماری توسعه یافته است.آسماری را معمولا با مته های دندانه کوتاه و دکمه ای و حتی مته های الماسه حفاری می کنند. گل حفاری مورد استفاده در این سازند وزنی حدود ۷۵ pcfدارد.

۶) سازند پابده و گورپی: این دو سازند به ترتیب در زیر سازند آسماری قرار دارند و حاوی شیل های آهکی می باشند. مشکلات عمده حفاری در این سازند ها جذب آب توسط شیل ها، تنگ شدگی چاه و گیر کردن لوله های حفاری می باشد.

۷) سازند های گروه بنگستان: گروه بنگستان در خوزستان شامل سازندهای ایلام و سروک می باشد که معمولا از آهک های رسی تشکیل شده اند و از نظر تخلخل ضعیف تر از سازند آسماری می باشند. گل های به کار برده شده معمولا آب نمک و یا امولسیون گازوئیل و آب بوده و وزن آنها کمتر از pcf۷۵می باشد. بکار گیری مته های الماسه در این سازندها با موفقیت همراه نبوده است.

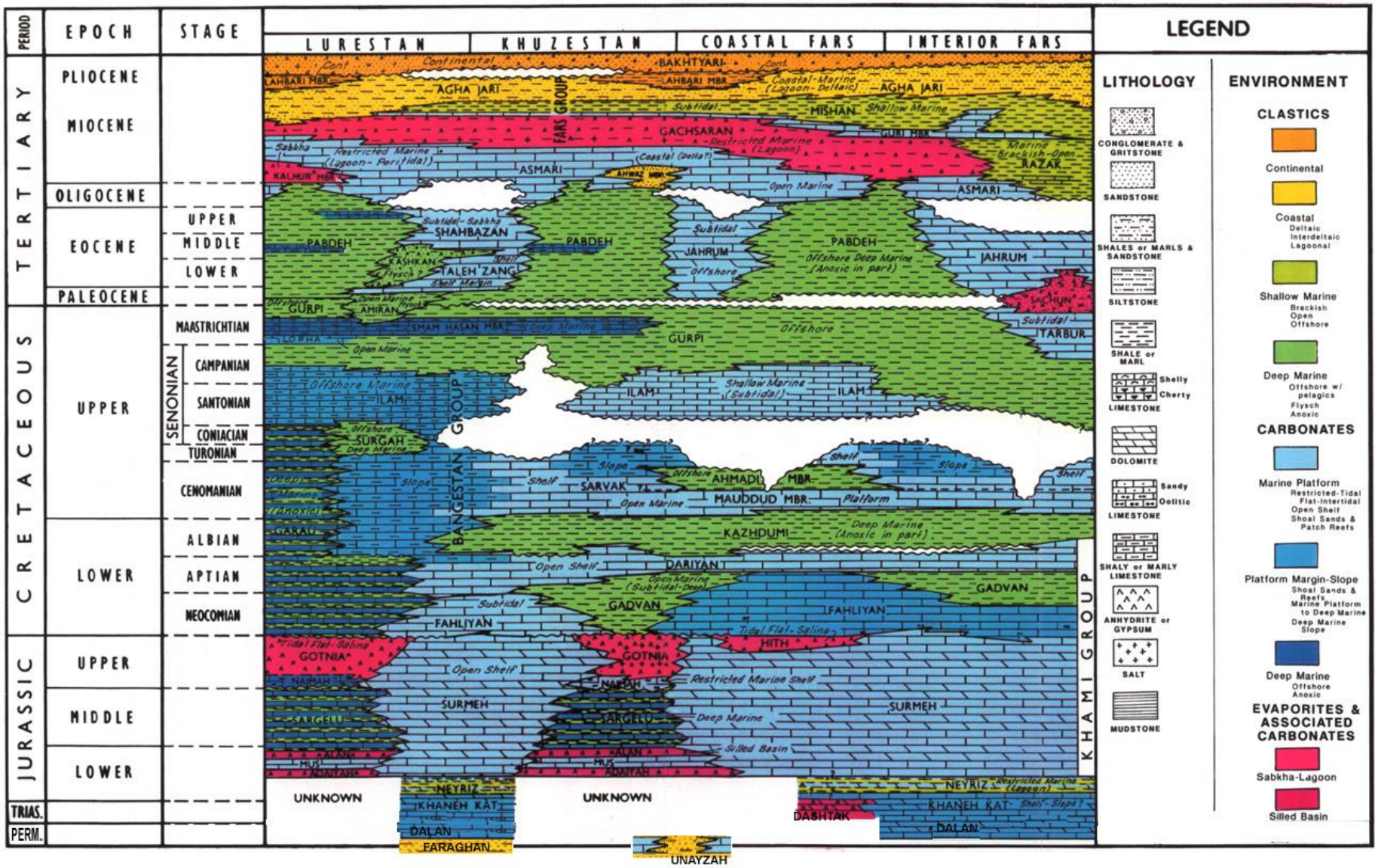
۸) سازندهای کژدمی: این سازنداز شیل و شیل های آهکی تشکیل شده است. از دیدگاه حفاری این سازند گاهی حاوی فشارهای غیر عادی زیاد است و گاهی با ایجاد تند شدگی چاه همراه است.

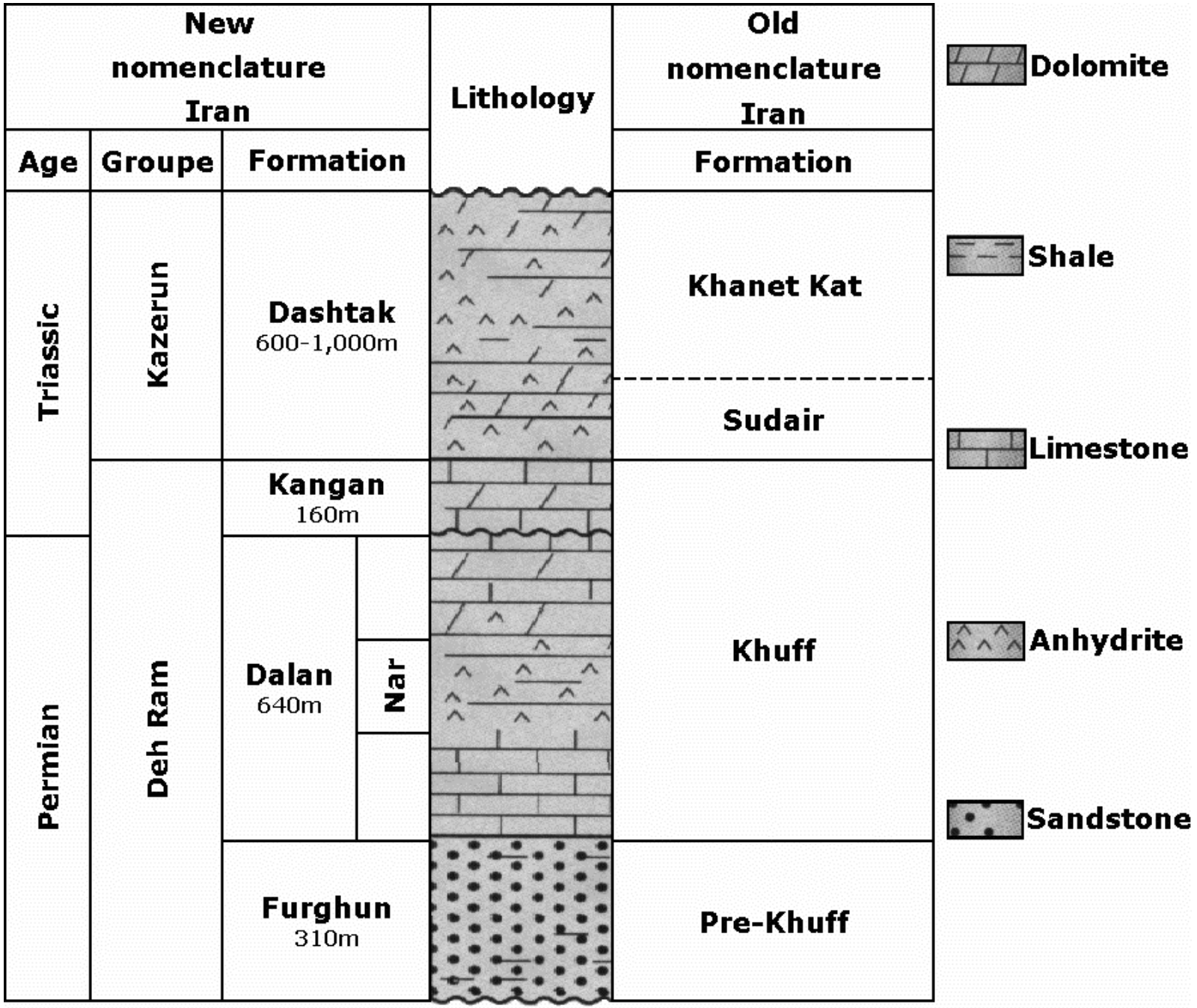
۹)سازندهای گروه خامی: این گروه شامل سازندهای داریان(آهکی)، گدوان(شیلی)، فهلیان(آهکی)، هیث(انیدرید) و سرمه (کربناته) می باشد.

۱۰) **سازند گرو:** این سازند که تماما از شیل و شیل های آهکی سیاه رنگ تشکیل شده است به علت تورق شیل ها معمولا دیواره چاه بسیار ناپایدار می باشد.

۱۱)سازندهای گروه کازرون: این گروه شامل سازندهای نیریز و دشتک می باشد. سازند نیریز عمدتا از دولومیت و آهک تشکیل شده ولی سازند دشتک شامل انیدرید ، دولومیت و مقادیری شیل آهکی است. سازند دشتک مهمترین پوش سنگ مخازن عظیم گازی خاور میانه محسوب می شود.

۱۲)سازند گروه دهرم: این گروه شامل سازندهای کنگان، دالان و فرقان می باشد.گروه دهرم به طور کلی دارای خواص مخزنی است و در پاره ای از میدان های حاوی گازی پر فشار است مثل مخزن پارس جنوبی که احتیاج به استفاده از گل هایی با وزن بیشتر از ۱۰۰ pcfمی باشد.


PERIOD
EPOCH
STAGE
LURESTAN
KHUZESTAN
COASTAL FARS
INTERIOR FARS
TERTIARY
PLIOCENE
MIOCENE
OLIGOCENE
EOCENE
UPPER
MIDDLE
LOWER
PALEOCENE
CRETACEOUS
MAASTRICHTIAN
SENONIAN
CAMPANIAN
SANTONIAN
CONIACIAN
TURONIAN
CENOMANIAN
ALBIAN
APTIAN
NEOCOMIAN
JURASSIC
TRIAS.
PERM.
BAKHTYARI
AGHA JARI
LAHBARI MBR.
FARS GROUP
MISHAN
GACHSARAN
GURI MBR.
RAZAK
ASMARI
AHWAZ MBR.
KALHUR MBR.
PABDEH
SHAHBAZAN
KASHKAN
TALEH ZANG
JAHRUM
SACHUN
TARBUR
GURPI
AMIRAN
EMAH HASAN MBR.
LOPHA
ILAM
SURGAH
BANGESTAN GROUP
SARVAK
AHMADI MBR.
MAUDDUD MBR.
KAZHDUMI
DARIYAN
GADVAN
FAHLIYAN
HITH
GOTNIA
NAIBAND
SURMEH
SARGELU
MUS
ALAN
ADAIYAH
KHAMI GROUP
UNKNOWN
NEYRIZ
KHANEH KAT
DALAN
FARAGHAN
DASHTAK
UNAYZAH
LEGEND
LITHOLOGY
CONGLOMERATE & GRITSTONE
SANDSTONE
SHALES or MARLS & SANDSTONE
SILTSTONE
SHALE or MARL
LIMESTONE
Shelly
Cherty
DOLOMITE
Sandy
Oolitic
LIMESTONE
SHALY or MARLY LIMESTONE
ANHYDRITE or GYPSUM
SALT
MUDSTONE
ENVIRONMENT
CLASTICS
Continental
Coastal
Deltaic
Interdeltaic
Lagoonal
Shallow Marine
Brackish
Open
Offshore
Deep Marine
Offshore w/ pelagics
Flysch
Anoxic
CARBONATES
Marine Platform
Restricted-Tidal Flat-Intertidal
Open Shelf
Shoal Sands & Patch Reefs
Platform Margin-Slope
Shoal Sands & Reefs
Marine Platform to Deep Marine
Deep Marine Slope
Deep Marine
Offshore
Anoxic
EVAPORITES & ASSOCIATED CARBONATES
Sabkha-Lagoon
Silled Basin


New nomenclature Iran
Lithology
Old nomenclature Iran
Age
Groupe
Formation
Formation
Triassic
Kazerun
Dashtak
600-1,000m
Khanet Kat
Sudair
Kangan
160m
Deh Ram
Permian
Dalan
640m
Nar
Khuff
Furghun
310m
Pre-Khuff
Dolomite
Shale
Limestone
Anhydrite
Sandstone

دور نمای برش نمونه تعدادی ازسازند های زاگرس

۱- برش نمونه سازند آهکی ایلام و شیلی سورگاه در یال شمالی کبیرکوه (استان ایلام)
۲- برش نمونه سازند آهکی سروک، تنگ سروک، یال جنوبی کوه بنگستان، مشرق شهر لیکک (استان کهگیلویه)
۳- توالی کامل ازسازند فهلیان تا آسماری، یال شمالی تاقدیس آنه، نزدیکی روستای کوپن، جاده شیراز- گچساران (استان کهگیلویه)
۴- برش نمونه سازند شیلی گرو، تنگ گرو، یال شمالی کبیرکوه، جاده ایلام- دره شهر (استان ایلام)
۵- برش نمونه سازند آهکی فهلیان، یال جنوبی کوه دال، نزدیکی روستای فهلیان، نورآباد ممسنی (استان فارس)
۶- برش نمونه سازند های شیلی-آهکی گدوان وآهکی داریان، مشرق کوه گدوان، شمال شرق شیراز (استان فارس)

نام سازند آغاجاری از شهرستان آغاجاری واقع در میانه یال جنوبی میدان نفتی آغاجاری در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز اقتباس شده است. این سازند شامل ۲۹۶۶ متر تناوب ماسه سنگ های آهکی قهوه ای تا خاکستری و مارن‌های قرمز رنگ با رگه های ژیپس و بالاخره سیلتستون های قرمز رنگ می باشد. این سازند در گذشته به نام طبقات قرمز رنگ نیز خوانده می شده است. سازند آغاجاری بر روی سازند مارنی میشان قرار گرفته و سازند گنگلومرای بختیاری آن را می پوشاند.

سازند آغاجاری

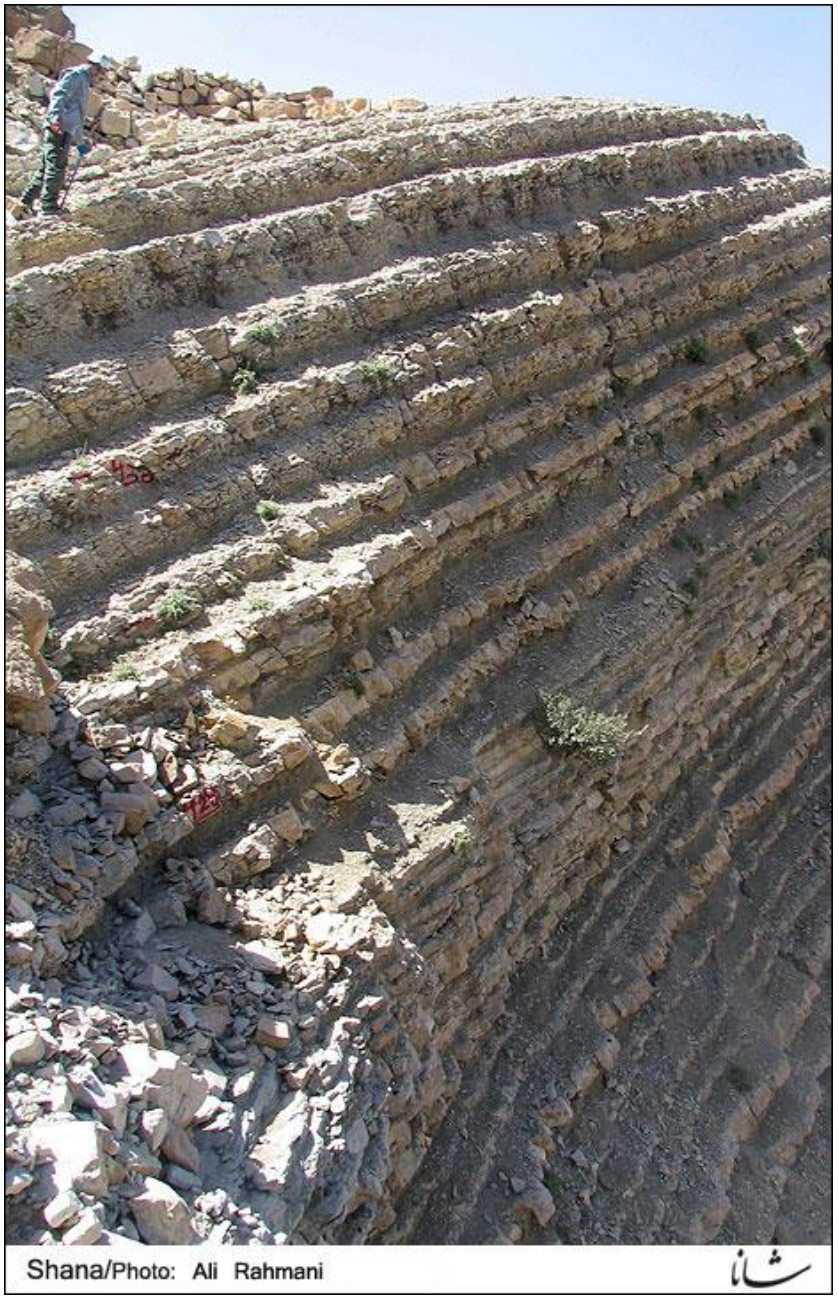
تناوب آهک و مارن های سازند گچساران در یال شمالی تاقدیس شور، لارستان فارس

نمایی از مرز سازند آهکی آسماری با گچ های سازند گچساران در دماغه جنوب شرقی تاقدیس بنگستان، شهرستان بهمئی (استان کهگیلویه و بویر احمد)

سازند آسماری در محدوده ی تنگ لیلم در مسیر خط لوله ی نفت آبادان - تنگ فنی شامل لایه هایی ستبر از سنگ آهک صخره ساز می باشد.

دور نمایی از سازند شیلی (Shale)پابده در یال شمالی تاقدیس منگشت، روستای چهارده ایذه، خوزستان.

دور نمایی از سازند شیلی پابده در یال حنوبی تاقدیس گورپی (تنگه پابده) در محل برش نمونه، شهرستان لالی، خوزستان.



نمایی نزدیک از سازند شیلی پابده در یال حنوبی تاقدیس گورپی (تنگه پابده) در محل برش نمونه، شهرستان لالی، خوزستان.

تناوبی از شیل، مارن و آهک رسی در راس سازند پابده ، یال جنوبی تاقدیس بنگستان (تنگه چال باغ) ،شهرستان بهبهان، خوزستان.

دور نمایی از سازندهای شیلی و مارنی پابده و گورپی در بین دو واحد آهکی بنگستان در زیر و آسماری در بالا، یال حنوبی تاقدیس بنگستان (تنگه چال باغ) ،شهرستان بهبهان، خوزستان.

شمایی از شیل های سازند کژدمی در بین واحد های آهکی واقع در روستار نارک دریال جنوبی تاقدیس میش، تنگ امامزاده جعفر جاده گچساران- شیراز (استان کهگیلویه و بویر احمد)

نمایی نزدیک از شیل های سازند کژدمی واقع در تنگ ماغر، یال شمالی تاقدیس بنگستان، شهرستان بهمئی (استان کهگیلویه و بویر احمد)

دور نمایی از سازند شیلی گرو

A fracture is a surface of discontinuity of mechanical origin.