دراسة عن
امكانية تطبيق طرق الاستخلاص الثلاثي لحقول الزيت العربية

الدكتور محمد حلمي صيام

كلية الهندسة ـــ جامعة الملك سعود

ان الهدف الأساسي من هذا البحث هو تقديم وتحليل المعايير المختلفة (Different Criteria) التي يمكن استخدامها لاختيار طريقة الاستخلاص الثلاثي (Tertiary Recovery) الممكن تطبيقها في حقول الزيت العربية في كل من السعودية ومصر وقطر والامارات وسوريا والكويت والعراق بناء على تحليل المعلومات المختلفة عن عمق الطبقات (Formation Depth) ولزوجة (Viscosity) وكثافة (Density) الزيت الموجود في الطبقات وملوحة الماء المصاحب مع الزيت (Initial Water Salinity) ونفاذية (Permeability) ومسامية (Porosity) الطبقة، وكذلك سمك الطبقة (Formation Thickness).

وقد وجد أن طرق الاستخلاص الثلاثي بواسطة المحاليل الكيميائية يمكن تطبيقها في كل من العراق ومصر. أما الحقن بواسطة البكتيريا فإنه يلائم حقول مصر والسعودية والعراق والكويت. كما يصلح تطبيق الطرق الامتزاجية لحقول كل من السعودية ومصر. وكذلك يمكن تطبيق كل من حقن الماء الساخن والبخار لحقول الكويت ومصر والعراق. أما بالنسبة لطريقة الاحتراق الداخلي فإنها تلائم ظروف حقول المملكة العربية السعودية.

مقدمة

من الممكن تعريف الاستخلاص المحسن للزيت (Enhanced Oil Recovery) على أنه سائل الهيدروكربونات (Hydrocarbon Liquid) المستخلص من مكامن الزيت الموجودة والتي لا يمكن استخلاصها فنيا أو اقتصاديا بالطرق الأولية المعروفة (Conventional Methods). ولذلك فإن كمية الزيت المتبقية بعد الطرق الأولية هي الهدف الأساسي لطرق الاستخلاص المحسن للزيت سواء كانت ثانوية (Secondary) أو ثلاثية (Tertiary). ويتم تقسيم هذه الطرق إلى نوعين أساسيين من الطرق : حرارية (Thermal) وغير حرارية (Nonthermal) وتشتمل الطرق غير الحرارية كلا من الغمر بالبلمر (Polymer Flooding) والميسلر (Micellary Flooding) والغمر القلوي (Alkaline Flooding) بالاضافة إلى عمليات الإزاحة الامتزاجية (Miscible Displacement).

وتعد إزاحة الزيت بواسطة محاليل البلمر من أهم الطرق في الوقت الحاضر لاستخلاص الزيت وذلك بسبب أن إضافة البلمر للماء يساعد على التحكم في حركيته، وكذلك حركة البلمر في الوسط المسامي تسبب انخفاض في النفاذية (Permeability Reduction) مما يؤدي إلى مقاومة سرعة سريان الماء الذي يؤدي إلى التحكم في الحركية والذي يزيد من الزيت المستخلص. وهناك ثلاثة أنواع رئيسية من البلمرات تستخدم في الغمر البلمري : بولي اكريلاميد (Polyacrylamides) وبولي سكاريد (Polysaccharides) وأكسيد البولي اثيلين (Polyethleneoxide).

أما الغمر بمحاليل الميسلر (Micellar Solutions) والبلمر فتعد من أهم عمليات الإزاحة في الوقت الحاضر نظرا لمقدرة الميسلر على الامتزاج (Miscibility) مع الزيت والماء الموجودين بالطبقة والعمل على تحريكهما ناحية بئر الانتاج. وتعد هذه الطريقة مكلفة إلى حد كبير. وتتم عملية الغمر بحقن محلول الميسلر يتبعه محلول البلمر بغرض التحكم الحركي ثم الماء لدفع هذه المحاليل. وهذه الطريقة تعتمد اعتمادا رئيسيا على خصائص السوائل والصخور وكما أن فهم الميكانيكيات (Mechanisms) التي بها يستطيع محلول الميسلر على تحريك الزيت المتبقي من أهم العوامل التي تحكم تطبيق هذه الطريقة في حقول الزيت.

وفي الغمر القلوي (Alkaline Flooding) يحدث تفاعل بين المحلول القلوي وبعض الأحماض العضوية (Organic Acids) الموجودة بالزيت الخام والتي تساعد على تكوين مستحلب (Emulsion) يؤدي إلى انخفاض في الشد البينسطحي (Interfacial Tension) مما يساعد على تحريك الزيت المتبقي في الطبقة. وكذلك التغير في تبلل الصخر (Rock Wettability) الناتج من حقن المحلول القلوي مما يساعد على زيادة الزيت المستخلص.

أما عمليات الإزاحة الامتزاجية (Miscible Displacement) فإنها تتكون من إزاحة الزيت بحقن كتلة مذيبة (Solvent Slug) والتي تمتزج تماما بالزيت. وتكون كتلة المذيب أما سائل هيدروكربوني مثل النافثا (Naptha) والكحول (Alcohol) أو غاز النفط المسال (Liquified Petrolum Gas) مثل البيوتان (Butane) أو البروبان (Propane). وهناك ثلاثة طرق للازاحة الامتزاجية :

(1) عملية حقن كتلة امتزاجية (Miscible Slug Process) وفيها تحقن كتلة من المذيب ويدفع بواسطة الغاز أو الغاز الطبيعي (Natural Gas) أو الماء.

(2) عملية الغاز المغذي (Enriched Gas Process) وفيها تحقن كتلة من الغاز المغذي يدفعه غاز خامل (Lean Gas) أو غاز خامل وماء.

(3) عملية الغاز العالي الضغط (High Pressure Process) وفيها يحقن غاز خامل تحت ضغط عال.

ولقد زاد الاهتمام الآن بعملية الغمر بثنائي أكسيد الكربون (Carbon Dioxide Flooding). فعندما يحقن ثنائي أكسيد الكربون فإنه يذوب أو يمتزج (Mixes) في الزيت الخام عند ضغط ودرجة حرارة المكمن مما يؤدي إلى تقليل لزوجته (Viscosity) والتي تؤدي إلى زيادة حركيته (Mobility) نحو بئر الانتاج.

وتشمل الطرق الحرارية على كل من الحقن بواسطة الماء الساخن (Hot Water Injection) أو البخار (Steam Injection) أو حرق طبقة الزيت (Insitu Compustion) لتسهيل حركة الزيت بواسطة درجات الحرارة العالية الناتجة. ويؤخذ الحقن بالبخار شكلين : أما الحقن المتواصل للبخار (Continuous Injection) أو الحقن الدوري (Cyclic Stimulation) لتنشيط الانتاج في البئر. وكذلك حرق الطبقة يأخذ شكلا من شكلين : (1) الاحتراق الأمامي (Forward Combustion)، (2) أو الاحتراق المعكوس (Reverse Combustion) ومن النادر استخدام الأخير إلّا في حالات اللزوجة المرتفعة جدا للزيت. ويتم حرق الطبقة بامداد مصدر اشعال

(Ignition) أسفل بئر الحقن ثم يتم حقن الهواء (Air Injection) الذي يساعد على اشتعال بعض سوائل الهيدروكربونات (Hydrocarbon Liqiuds) الموجودة وتتكون جبهة الحريقة (Fire Front) والتي تدفع باستمرار حقن الهواء وهذا يساعد على تسخين الطبقة مما يؤدي إلى تقليل لزوجة الزيت وتقطيره (Distillation) وانتاج مواد مذيبة تساعد على تحريك الزيت (Oil Mobilization) نحو بئر الانتاج (Production Well).

خطوات مقترحة لتطبيق معايير الطرق المختلفة

تعد المعايير المختلفة المراد تطبيقها لتحديد الطريقة المناسبة للاستخلاص المحسن للزيت هي الخطوة الأولى لتقييم هذه الطريقة. ولتطبيق طريقة ما من طرق الاستخلاص الثلاثي فإنه من المهم تحديد العوامل المختلفة التي تؤثر وتحد من إمكانية استخدام هذه الطريقة.

وفيما يلي الخطوات المقترحة لهذا التطبيق :

1 ــ يتم تجميع المعلومات (Collection of Available Data) المطلوبة عن سوائل وصخور المكامن المختلفة.

2 ــ اجراء تحليل للمعايير المختلفة (Screening Analysis) التي تستخدم في طرق الاستخلاص المحسن.

3 ــ يمكن تحديد (Assign) طريقة مناسبة اعتمادا على المضاهاة (Matching) بين المعلومات (Data) والمعايير (Criteria) (أي في الخطوتين 1 و 2).

4 ــ اجراء تجارب في المعمل لدراسة الطريقة المختارة من الخطوة 3 لظروف حقل زيت معين.

5 ــ اذا توافقت الدراسة في الخطوة السابقة فإنه يمكن الانتقال إلى الخطوة السادسة أما إذا لم تتوافق فإنه يتعين اختيار آخر.

6 ــ عمل دراسة اقتصادية (Economic Evaluation) وفنية (Technical) هندسية (Engineering) للطريقة التي تم اختيارها.

7 ــ في حالة توافق الدراسة في الخطوة 6 فإنه يمكن اجراء اختبار حقلي (Pilot test) أما في حالة عدم التوافق فإنه يتعين اختيار طريقة أخرى والانتقال إلى الخطوة رقم 3.

والمعايير المختلفة التي ستستخدم في هذا البحث مقدمة في الجدول رقم (1).

جدول رقم (1) :
المعايير المستخدمة في هذه الدراسة

1 ــ كثافة الزيت الخام بدرجات API (API Gravity)
2 ــ عمق الطبقات المنتجة (Depth of Formation)
3 ــ نفاذية صخور الطبقة المنتجة (Rock Permeability)
4 ــ مسامية صخور الطبقة المنتجة (Rock Porosity)
5 ــ سمك الطبقة (Formation Thickness)
6 ــ نوع التكوين (رملي أو جيري) : (Type of Formation : Sandstone or Limestone)

تطبيق طرق الاستخلاص الثلاثي لبعض الحقول العربية

يوضح جدول رقم (2) بعض المعلومات المستخدمة في هذا البحث عن حقول الزيت العربية ومن الضروري قبل تطبيق أي طريقة من طرق الاستخلاص الثلاثي أن تجرى تجارب معملية تعتمد أساسا على خواص سوائل المكمن مثل اللزوجة والحموضة والكثافة وملوحة الماء وكذلك خصائص المكمن مثل الضغط ودرجة الحرارة ومكونات الطبقات ونوعها ومسامية ونفاذية وسمك طبقة الانتاج وأن تستعمل سوائل وصخور المكمن المراد دراستها في التجارب المعملية حتى تكون مشابهة تماما للظروف المكمنية. ويتم دراسة تأثير هذه الخواص المختلفة على عائد الزيت المستخلص من الوسط المسامي بحيث أن يتم اختيار تركيب ونوع المحاليل الكيميائية التي سيتم حقنها في حقل الزيت لاستخلاصه وسنتناول فيما يلي دراسة إمكانية تطبيق الطرق المختلفة للحقول العربية المقدمة في هذه الدراسة.

ان أمثل الظروف لتطبيق طرق الاستخلاص الثلاثي أو المحسن بواسطة المحاليل الكيميائية (البوليمر والميسلر والقلوي) هي أن تكون قيم كثافة الزيت (API) متوسطة كما هو مبين في الشكل رقم (1) حيث يوضح هذا الشكل بأن أنسب القيم لـ API تتراوح بين 10 إلى 45 درجة.

ويفضل تطبيق هذه الطرق في طبقات مكونة من الصخور الرملية وعدم تجانس الطبقة ووجود بعض الشقوق يسبب فشل تطبيق طرق الحقن بالمحاليل الكيميائية وذلك بسبب حدوث انبثاق سريع وضياع لكتلة المحلول الكيميائي المحقونة.

ويتضح من الشكل رقم (1) أن الحقن بمحاليل البلمر لا يناسب إلّا بعض الحقول في العراق. أما في مصر والعراق والكويت فيمكن تطبيق طريقة حقن محاليل الميسلر وطريقة الاستخلاص الميكروبي (بالبكتيريا) ويمكن تطبيق طرق الاستخلاص القلوي والاستخلاص البكتيري ببعض الحقول بالمملكة العربية السعودية. وطرق الاستخلاص البكتيري والاستخلاص بحقن محلول الميسلر يمكن تطبيقها في بعض حقول كل من قطر والامارات العربية المتحدة. وبناء على معيار الكثافة يمكن تطبيق الإزاحة الامتزاجية وحقن ثنائي أكسيد الكربون في معظم الحقول المقدمة في هذه الدراسة وأما الطرق الحرارية مثل الحقن بالبخار والاحتراق الداخلي فيمكن تطبيقها لمعظم الحقول.

والشكل رقم (2) يوضح معيار عمق الطبقة حيث يتبين أن الطرق الكيميائية لا يصلح تطبيقها في كل من الامارات وقطر. ويمكن تطبيق طرق الحقن بمحاليل البلمر والميسلر في العراق. أما الطرق الميكروبية فلا يمكن تطبيقها لكل من الامارات وقطر. ويمكن تطبيق طرق الامتزاج وكذلك الغمر بثنائي أكسيد الكربون لمعظم الحقول أما بالنسبة للطرق الحرارية فإن تطبيقها لا يصلح من ناحية العمق في حقول الامارات وقطر والسعودية.

ويوضح الشكل رقم (3) معيار نفاذية الطبقة حيث تتراوح قيم النفاذية في حقول الزيت العربية ما بين 2 إلى 4000 ميللي دارسي. وبناء على هذا المعيار والطرق الموضحة بهذا الشكل يتبين أن الاستخلاص الميكروبي لا يصلح تطبيقه لنفاذية حقول سوريا والامارات. أما الحقن بمحاليل الميسلر والبلمر والقلوي فيمكن تطبيقه في معظم الحقول العربية. واعتمادا على هذا المعيار فإنه لا تتوافق نفاذية

جدول رقم (2) : بعض المعلومات عن حقول الزيت في بعض الدول العربية

	السعودية		قطر		الكويت		
Reservoir Property	المنطقة الشمالية	المنطقة الجنوبية	بري	بحري	المنطقة الشمالية	المنطقة الجنوبية	المنطقة المحايدة
Depth (ft) العمق	4100 to 6800	5200-8000	5600-6600	7000	8300 to 8600	4800-10000	1100-1700
Lithology	Sandstone (Wasia)	Carbonate (Arab D)	Limestone	Limestone	Sandstone and carbonate	Carbonate except Burgan	Sandstone and carbonate
Thickness السمك	20-200	100-300	200-400	80-400	200-1400		100-250
Porosity (%) المسامية	20 to 29	14 to 22	18		18 to 24		20 to 35
Permeability (MD) النفاذية	1000 to 3000	100 to 500	65-150	100-500			
Oil gravity (API) الكثافة	27 to 34	34 to 37	37 to 42	38	28 to 33	26 to 34	18-23
Water salinity (ppm) الملوحة	—	—	—	—	—	—	—

تابع جدول رقم (2)

	العراق		الامارات العربية المتحدة			سوريا	مصر
	المنطقة الشمالية	المنطقة الجنوبية	بري	بحري	أبو ظبي		
Depth (ft) العمق	2800 to 6500	10000-11000	7500-7900	8500-9150	7500-12900	2000-6000	2105-11900
Lithology	Carbonate	Sandstone	U. Thamana Limestone	U. Thamana Limestone	Limestone	—	Sandstone and cabonate
Thickness (ft) السمك	—	200-300	81-170	100	—	—	—
Porosity (%) المسامية	20	20-25	25-30	19-29	—	—	—
Permeability (MD) النفاذية	200	400 to 1000	15-80	1.5-30	3-70	5.3-3000	
Oil gravity (API) الكثافة	14 to 42	Shallow heavy oil 10 deeper light oil 34-42	41 to 44	37 to 39	30-50	—	20-38
Water salinity (ppm) الملوحة	—	—	—	—	—	—	15000-250000

مكامن كل من العراق وقطر والسعودية للغمر الامتزاجي وثنائي أكسيد الكربون. ولا تنطبق نفاذية حقول كل من سوريا والامارات العربية المتحدة على الغمر الحراري بواسطة الماء الساخن أو البخار أو الاحتراق الداخلي. أما بالنسبة لمعيار مسامية الطبقة (شكل رقم 4) فإنه يتضح أن جميع طرق الاستخلاص الثلاثي يصلح تطبيقها لكل الحقول العربية المقدمة. ويوضح شكل رقم (5) معيار سمك الطبقة وإمكانية التطبيق في هذه الحالة لا تصلح في حالة الغمر الامتزاجي وثنائي أكسيد الكربون والاحتراق الداخلي لسمك طبقات كل من الامارات والعراق والكويت وقطر.

ويوضح الجدول رقم (3) ملخص لصلاحية تطبيق كل طرق الاستخلاص المحسن سواء كانت حرارية أو غير حرارية لكل حقول الزيت العربية المقدمة في هذه الدراسة. ومن المعايير الهامة التي يجب أن تؤخذ بالحسبان نوع التكوين، رملي أو جيري لأن ذلك قد يؤثر على طريقة الاستخلاص المستخدمة.

خلاصة

بناء على تحليل ودراسة المعايير المختلفة لطرق الاستخلاص الثلاثي لحقول الزيت العربية فإنه يمكن استخلاص الآتي :

(1) الاستخلاص بواسطة حقن البكتيريا يصلح لحقول كل من مصر والسعودية والعراق والكويت.

(2) يمكن تطبيق الاستخلاص الثلاثي بواسطة المحاليل الكيميائية لكل من العراق ومصر والكويت.

(3) يصلح تطبيق الطرق الامتزاجية والغمر بثنائي أكسيد الكربون لكل من السعودية ومصر.

(4) يمكن تطبيق كل من حقن الماء الساخن والبخار لطبقات حقول الكويت ومصر والعراق.

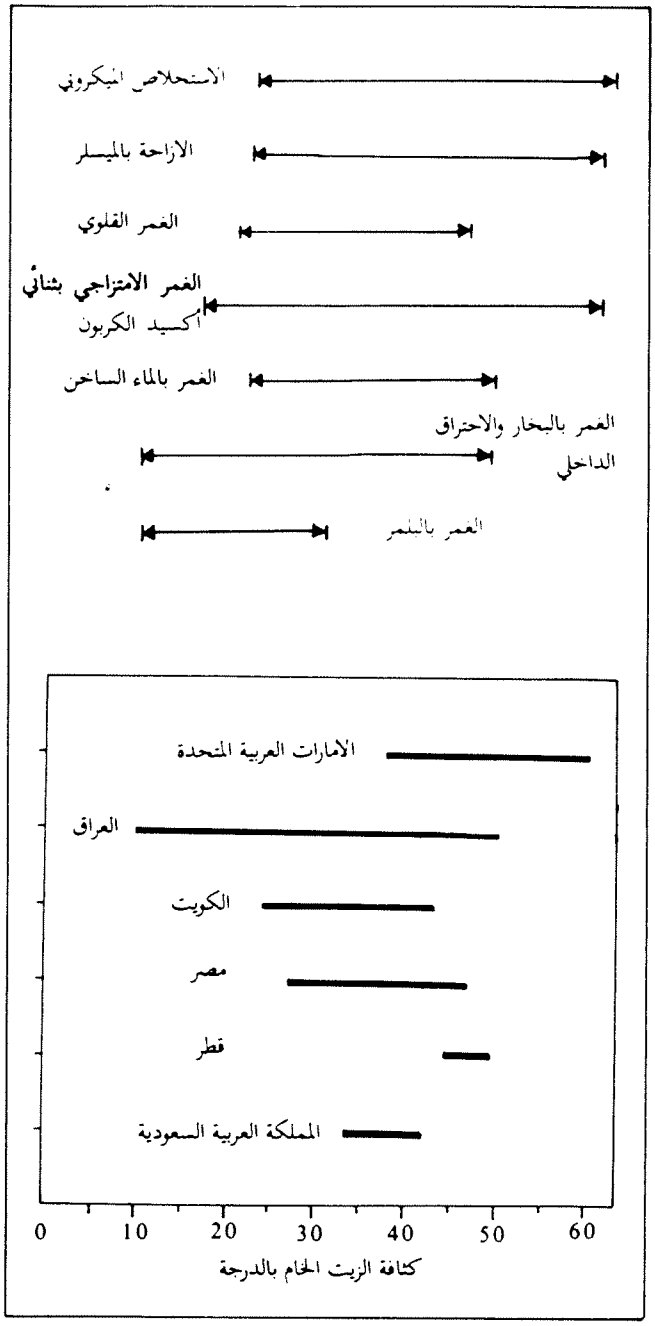
(5) يمكن تطبيق طريقة الاحتراق الداخلي في بعض حقول المملكة العربية السعودية.

جدول رقم (3) : إمكانية تطبيق طرق الاستخلاص الثلاثي للحقول العربية

الطريقة / الدولة	الاستخلاص الميكروبي					حقن البلمر					الازاحة بالميسلر					الازاحة بالقلوي					الحقن الامتزاجي					حقن ثنائي أكسيد الكربون					حقن الماء الساخن					حقن البخار					الاحتراق الداخلي				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
سوريا	؟	★	×	؟	—	؟	★	★	؟	؟	؟	★	★	؟	؟	؟	★	★	؟	؟	؟	★	★	؟	؟	؟	★	★	؟	؟	؟	★	★	؟	؟	؟	★	★	؟	؟	؟	★	★	؟	؟
الامارات	★	×	×	—	—	★	×	؟	؟	★	★	؟	×	★	★	؟	×	؟	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
العراق	★	؟	★	—	—	★	؟	★	×	—	★	★	★	★	؟	★	★	★	★	؟	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
مصر	★	★	★	—	—	★	★	★	؟	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
الكويت	؟	★	•	—	—	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
قطر	★	★	★	—	—	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
السعودية	★	؟	★	—	—	★	؟	★	؟	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★

1 = معيار كثافة الزيت
2 = معيار عمق الطبقة
3 = معيار النفاذية
4 = معيار المسامية
5 = معيار سمك الطبقة

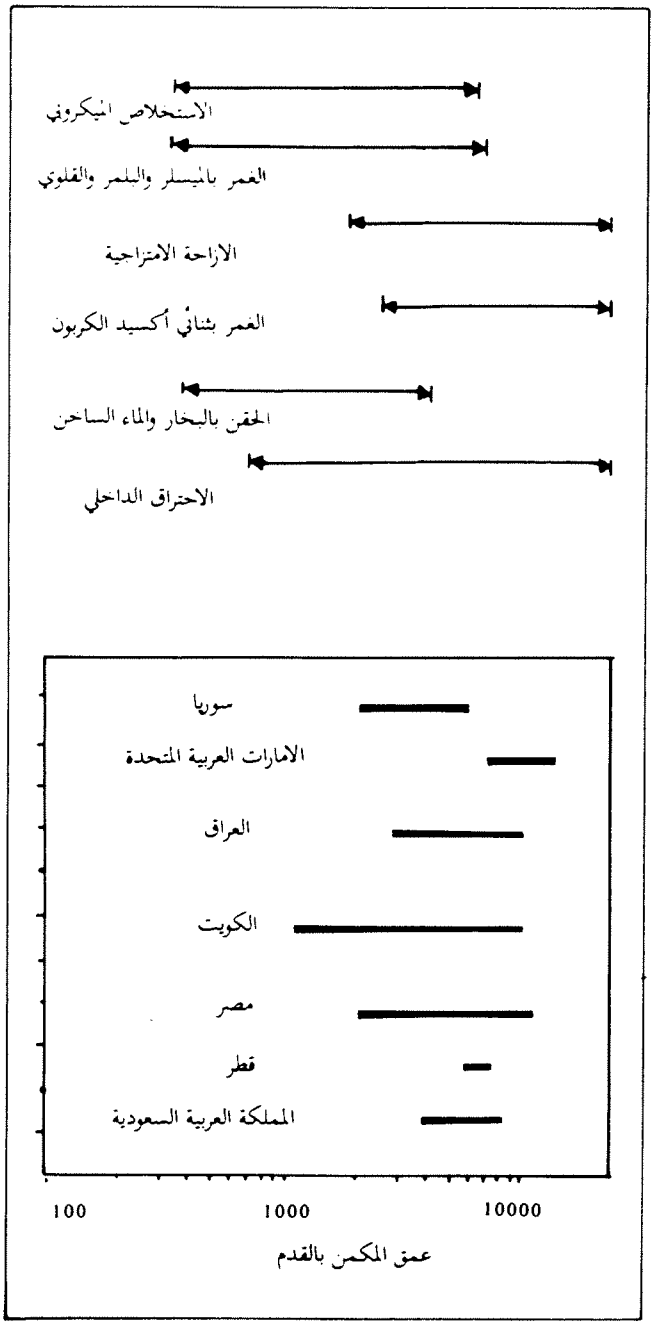
★ معيار صالح للتطبيق
× معيار غير صالح للتطبيق
؟ معيار قد يصلح أو قد لا يصلح للتطبيق
• معلومات غير متوفرة
— معيار غير فعّال



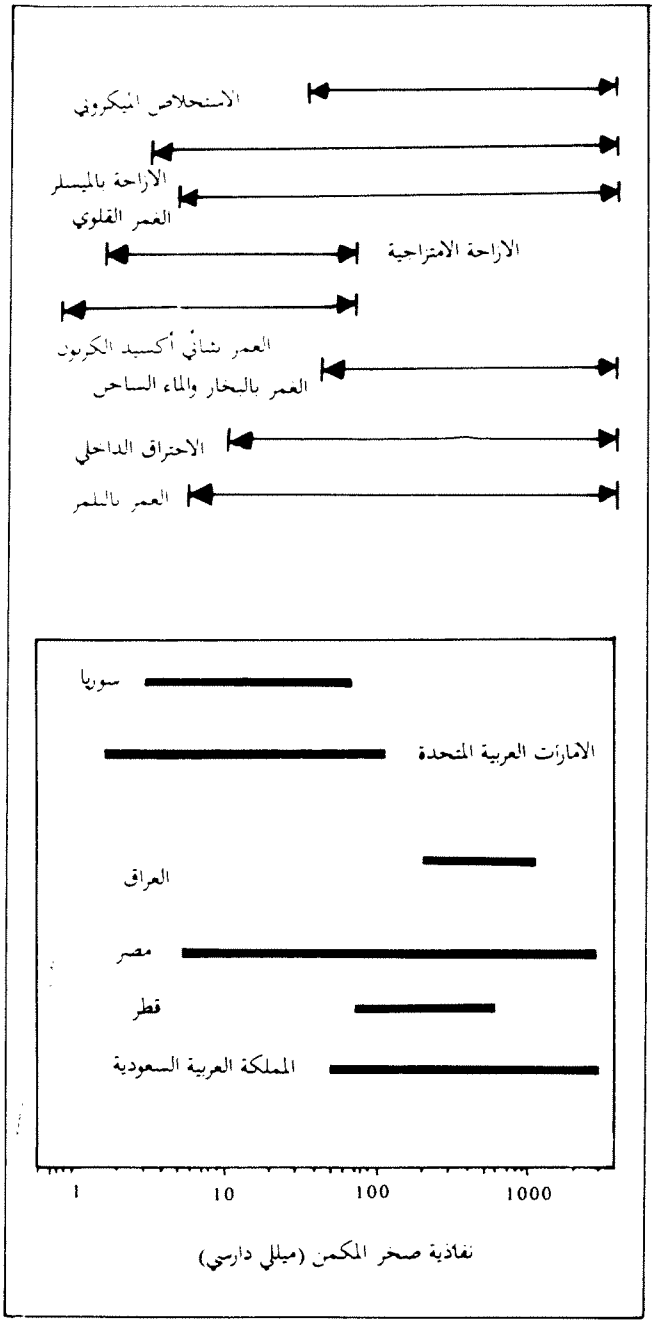
شكل رقم (1) : كثافة الزيوت العربية المختلفة والمجالات الممكنة لطرق الاستخلاص المحسن

المراجع العلمية

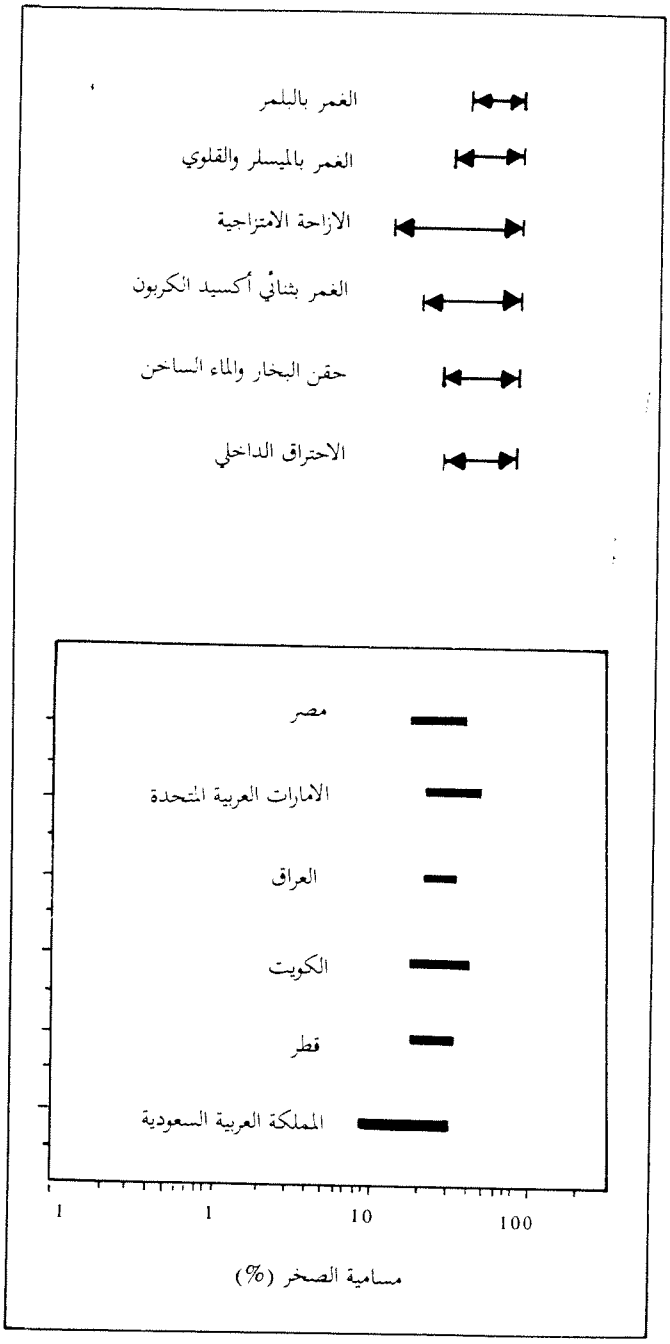
1. Perry, C.W. : «The economics of enhanced oil recovery and its position relative to synfuels», J. Pet. Tech. (Nov. 1981).
2. Sayyouh, M.H. : «Improved oil recovery **methods», Energy Research Center (ERC), College of Engineering, Cairo University (1986),** pp. 45-48 and pp. 74 and 87.
3. El-Batanony, M. H., Sayyouh, M. H., Mahgoub, I. S. and Abdel Waly, A. A. : «Screening guides enhanced oil recovery methods under Egyptian reservoir conditions», J. Egyptian Soc. of Engineers. Vol. 26, No. 1 (1987), pp. 60-66.
4. Taber, J. L. : «Technical screening guides for the enhanced recovery of oil», Paper SPE 12069, presented at the 5th Annual Techn. Conf. and Exhib. in San Francisco, CA, Oct. 5-8 (1983).
5. Sawabini, C. T. : «Screening Arab oil reservoirs for enhanced oil recovery», OAPEC Proceedings of the Seminar on EOR, Doha, Qatar, No. 26, Dec. 1 (1983).
6. Schumacher, M. M. : «Enhanced recovery of residual and heavy oils», 2nd Ed., Doyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, U.S.A. (1980), pp. 172-180.
7. Pelline, J. E. : «Enhanced oil recovery», SRI International Project 5159 (Aug. 1982).
8. Slider, H. C. : «Worldwide practical petrolum reservoir engineering methods», PennWell Books, Tulsa, Oklahoma, U.S.A. (1983), pp. 626-628.
9. Geffen, T. M. : «Oil production to expect from known technology», Oil & Gas Journal (May 1983), 66-76.
10. Poettmann, F. H., Editor : «Secondary and tertiary oil recovery process», Interstat Oil Compact Commission, Oklahoma (September, 1974).
11. Farouq Ali, S. M. and Meldan, R. F. : «Current steam flood technology», J. Pet. Techn. (Oct. 1979) 1332-1342.
12. Geffen, T. M., «Here's what is needed to get tertiary recovery going», World Oil (March 1975) 52-53.
13. Sayyouh, M. H. and Al Blehed, M. S., : «Screening criteria for enhanced recovery of Saudi crude oils», Energy Sources, Vol. 12, pp. 71-82 (1990).



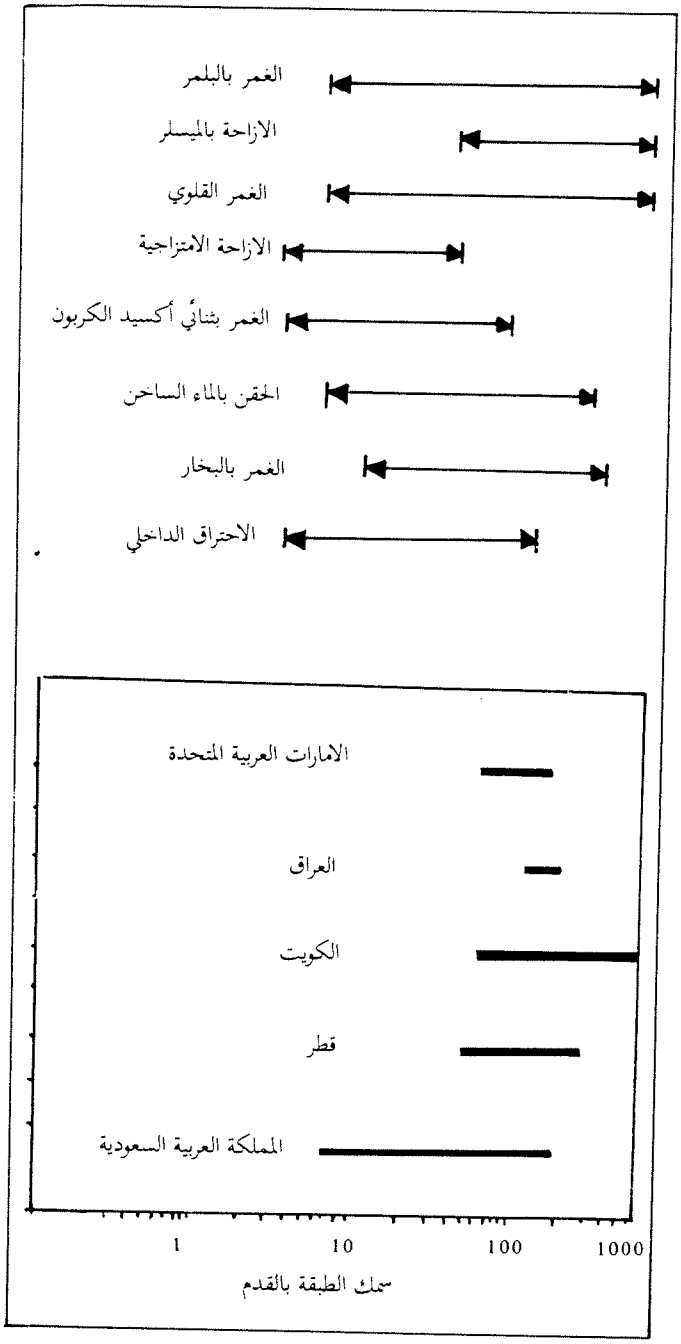
شكل رقم (2) : عمق الطبقات في الحقول العربية والمجالات الممكنة لطرق الاستخلاص المحسن



شكل رقم (3) : نفاذية صخور حقول الزيت العربية والمجالات الممكنة لطرق الاستخلاص المحسن



شكل رقم (4) : مسامية صخور حقول الزيت العربية والمجالات الممكنة لطرق الاستخلاص المحسن



شكل رقم (5) : سمك الطبقة لحقول الزيت العربية والمجالات الممكنة لطرق الاستخلاص المحسن