



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول
أوابك

النفط والتعاون العربي



المجلد السادس والأربعون 2020 - العدد 172

جائزة أوابك العلمية لعام 2018

■ أثر أسعار النفط على العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي: دراسة تطبيقية في الدول الأعضاء لمنظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

د. أمينة محمد علي بوعلامي

الجائزة الثانية

الأبحاث

■ دور الاستثمار المحسن للنفط في تطوير الاحتياطيات الهيدروكربونية

تركي الحمش



النفط والتعاون العربي

الاشتراك السنوي : 4 أعداد (ويشمل أجور البريد)

البلدان العربية

للأفراد : 8 د. ك أو 25 دولاراً أمريكياً

للمؤسسات : 12 د.ك أو 45 دولاراً أمريكياً

البلدان الأخرى

للأفراد : 30 دولاراً أمريكياً

للمؤسسات : 50 دولاراً أمريكياً

الاشتراكات باسم : منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول

النفط والتعاون العربي



علي سبت بن سبت

عبد الكريم عايد

رئيس التحرير

نائب رئيس التحرير

هيئة التحرير

د. سعد عكاشة

د. احمد الكواز

عماد مكي

د. سمير القرعيش

عبد الفتاح دندي

د. اسامة الجمالي

قواعد النشر في المجلة

تعريف بالمجلة واهدافها

النفط والتعاون العربي مجلة فصلية محكمة تعنى بشؤون النفط والغاز والطاقة حيث تستقطب نخبة من المتخصصين العرب والأجانب لنشر أبحاثهم وتعزيز التعاون العلمي في المجالات التي تغطيها المجلة، كما تقوم على تشجيع الباحثين على إنجاز بحوثهم المبتكرة والإسهام في نشر المعرفة والثقافة البترولية وتلك المتعلقة بالطاقة وتعميمها والعمل على متابعة التطورات العلمية في مجال الصناعة البترولية.

الأبحاث

كافة الأبحاث التي تتعلق بالنفط والغاز والطاقة والتي تهدف إلى الحصول على إضافات جديدة في حقل الفكر الإقتصادي العربي.

مراجعة الأبحاث والكتب

تقوم المجلة بنشر المقالات التي تقدم مراجعة تحليلية لكتب أو دراسات تم نشرها حول صناعة النفط والغاز والطاقة عموماً، بحيث تكون هذه المقالات مرجعاً للباحثين حول أحدث وأهم الإصدارات المتعلقة بالصناعة البترولية.

التقارير

تتناول التقارير وقائع مؤتمر أو ندوة حضرها الكاتب، شريطة أن تكون مواضيعها ذات صلة بالنفط والغاز والطاقة، كما يشترط استئذان الجهة التي أوفدته للمؤتمر أو المؤسسات المشرفة عليه لكي تسمح له بنشرها في مجلتنا. وأن لا تزيد عدد صفحات التقرير عن 10 صفحات مع كافة الأشكال والخرائط والجداول إن وجدت.

شروط البحث

- نشر الأبحاث العلمية الأصيلة التي تلتزم بمنهجية البحث العلمي وخطواته المتعارف عليها دولياً ومكتوبة باللغة العربية.
- أن لا يتجاوز البحث العلمي المنشور على 40 صفحة، (متن البحث، الجداول والاشكال) بدون قائمة المراجع، ويرسل إلكترونيا كاملاً إلى المجلة على شكل word document.
- ترسل الأشكال، الخرائط والصور في ملف اضافي على شكل JPEG.
- استخدام خط Times New Roman في الكتابة ويحجم 12، وأن تكون المسافة بين الأسطر 1.5. وأن تكون تنسيق الهوامش الكلمات بطريقة Justified.
- أن يتم الإشارة الى مصادر المعلومات بطريقة علمية واضحة.

- عند اقتباس أي معلومات من أي مصدر (إذا كانت المعلومات رقميه أو رؤية معينة أو تحليل ما) يجب أن لا يتم الاقتباس الحرفي وإنما يتم أخذ أساس الفكرة وإعادة صياغتها بأسلوب الباحث نفسه، والإشارة إلى مصدر الإقتباس. أما في حالات الإقتباس الحرفي فتضع المادة المقتبسة بين علامتي الإقتباس ("...").
- يفضل أن تذكر المدن ومراكز الأبحاث والشركات والجامعات الاجنبية الواردة في سياق البحث باللغة الانجليزية ولا تكتب باللغة العربية.
- إرفاق نسخة من السيرة العلمية للباحث مع البحث المرسل.
- تعبر جميع الأفكار المنشورة في المجلة عن آراء كاتبها ولا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر جهة الإصدار ويخضع ترتيب الأبحاث المنشورة وفقا للاعتبارات الفنية.
- البحوث المرفوضة يبلغ أصحابها من دون ابداء الأسباب.

ترسل المقالات والمراجعات باسم رئيس التحرير، مجلة النفط والتعاون العربي، أوابك،

ص.ب: 20501 الصفاة- الرمز البريدي: 13066 دولة الكويت

الهاتف: 00965- 24959000 أو 00965-24959779

الفاكس: 00965 - 24959755

البريد الإلكتروني oapec@oapecorg.org

موقع الأوابك على الانترنت www.oapecorg.org

المحتويات

جائزة أوابك العلمية لعام 2018

أثر أسعار النفط على العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي والنمو
الاقتصادي؛ دراسة تطبيقية في الدول الأعضاء لمنظمة الأقطار
العربية المصدرة للبتترول
د. أمينة محمد علي بوعلاي

7

الأبحاث

دور الاستثمار المحسن للنفط في تطوير
الاحتياطيات الهيدروكربونية

تركي الحمش

75

البحث الأول

جائزة أوابك العلمية لعام 2018

الجائزة الثانية

أثر أسعار النفط على العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي
والنمو الاقتصادي: دراسة تطبيقية في الدول
الأعضاء لمنظمة الأقطار العربية المصدرة للبتترول

د. أمينة محمد علي بو علاي*
مملكة البحرين

* فاز هذا البحث بالجائزة الثانية علماً بأن لجنة تحكيم جائزة أوابك العلمية لعام 2018 كانت قد قررت حجب الجائزة الأولى

الفصل الأول الإطار العام للدراسة

مقدمة

يُعتبر التنوع الاقتصادي من أهم المؤشرات التي تُقاس بها اقتصادات الدول؛ إذ إن الرغبة في تحقيق عدد أكبر لمصادر الدخل الأساسية في بلد ما، من شأنها أن تعزّز قدراته الحقيقية ضمن إطار من التنافسية العالمية، والذي يعتبر الهدف الأسمى للحكومات التي تسعى للنهوض باقتصاد الدولة.

ولذا فإن هناك حاجة إلى الارتقاء بواقع عددٍ من القطاعات الاقتصادية تدريجيًّا؛ لتكوين بدائل يمكنها أن تحل محل المورد الوحيد (عاطف، 2003)؛ إذ يمثل التنوع الاقتصادي العمود الفقري لاستقرار الاقتصاد، فكلما كان هناك تنوع اقتصادي أتاح ذلك فرصًا جيدة لتكوين وبناء اقتصاد قوي يقف في مواجهة التدهور والأزمات الاقتصادية.

ويُنظر إلى التنوع الاقتصادي باعتباره من أهم السياسات الاقتصادية التي تلجأ إليها البلدان النامية ذات الموارد الطبيعية الوفيرة؛ وذلك للخروج مما يُعرف بـ "نقمة الموارد" (Gelb، 2010)؛ إذ يتميز عدد من البلدان النامية بالموارد الطبيعية الوفيرة والناضبة، مما يجعلها في تحدٍّ كبير لاستغلال هذه الموارد استغلالاً أمثل لتحقيق التنمية المستدامة.

وتتجلى "نقمة الموارد" تلك في صورتين؛ هما على النحو الآتي؛ أولاً: جادل بعض علماء الاقتصاد في أن اعتماد الدولة على الموارد الناضبة سيخلق تشوهًا في الاقتصاد عبر زيادة الاعتماد على هذا المورد باعتباره مصدرًا للدخل، مع تخفيض الاعتماد على التصنيع، ومن ثمَّ ضعف النمو الاقتصادي (Sachs، 1995). ثانيًا: ربط بعض العلماء بين توافر الموارد والثروات الطبيعية وظهور الصراع المدني واستمراره في الدولة على الثروات (Collier، 2005).

ويلقى موضوع التنوع الاقتصادي اهتمام الباحثين وصُنِّعَت السياسات الاقتصادية في الدول النفطية منذ زمن بعيد، فعلى الرغم من توفر الموارد الطبيعية والبشرية في هذه الدول إلا أنها لم تزل تبحث عن نموذجها التنموي الذي تستطيع من خلاله ضمان مستقبل أفضل لأجيال قادمة، فبعض هذه

الدول اعتمدت منهجيات مختلفة وأحياناً متضاربة في طريق التنمية، والبعض الآخر اعتمد بشكل كبير على موارده الطبيعية الناضبة دون مراعاة حقوق الأجيال القادمة.

وخلاصة ما يمكن فهمه من التجربة العربية في التنمية الاقتصادية: أننا بحاجة إلى نموذج تنموي فريد يستغل مصادر القوة الكامنة في الدول العربية، ويقوم بتنميتها في إطار رؤية اقتصادية متكاملة. كل ذلك لا يتم إلا في ظل وجود حكومات ترعى سياسة التنوع الاقتصادي، وتنظمها، وتحافظ على استمراريتها، وتأخذ على عاتقها تطبيق نتائجها.

تساهم هذه الدراسة في جدلية التنوع الاقتصادي وتأثيره على التنمية الاقتصادية في الدول النفطية في ظل تأثير اسعار النفط. إذ تهدف إلى تحليل واقع التنوع الاقتصادي في الوطن العربي خلال حقبة زمنية تمتد إلى ثلاثة وعشرون عامًا؛ ترصد من خلالها واقع التنوع الاقتصادي في الدول العربية النفطية، ودورها في النمو الاقتصادي. وهي في ذات الوقت دراسة تطبيقية تعمد إلى البحث في العوامل التي من شأنها المساهمة في تطوير سياسة التنوع الاقتصادي في الدول النفطية، وتقديم الرؤى والحلول لمتخذي السياسات الاقتصادية. مستندة في ذلك إلى نموذج قياسي في تفسير التنوع الاقتصادي وعلاقته بالنمو، مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير أسعار النفط، والذي من شأنه أن يؤثر تأثيراً كبيراً على التنمية الاقتصادية.

ولتحقيق أهداف الدراسة، فقد نظمت في ستة فصول؛ يتطرق الفصل الأول فيها للإطار العام للدراسة، إذ يبين مشكلة الدراسة، وأهميتها، وأهدافها الأساسية.

ويتطرق الفصل الثاني للإطار النظري، ويحدد فيها السمات الأساسية للتنوع الاقتصادي والنمو، والدراسات السابقة التي تمت في بلدان مختلفة، والتي يمكن الاسترشاد بها في الدراسة الحالية.

أما الفصل الثالث؛ فقد خُصص لبيان المنهجية التي قامت عليها الدراسة، وإظهار عينة الدراسة، ومصادر جمع البيانات، وطرق قياس المتغيرات، والنماذج القياسية التي ستوظف فيها هذه القياسات لاختبار الفرضيات.

أما الفصل الرابع؛ فيهدف إلى إجراء دراسة وصفية. يليه في الفصل الخامس الذي يستعرض اختبار النماذج القياسية للدراسة، والتي تهدف إلى اختبار الفرضيات.

أما الفصل السادس، فقد أبرز فيه الباحث تحليل النتائج، واستخلاص الاستنتاجات، وتقديم التوصيات المختلفة، مع تبيان لأهم محددات الدراسة، واقتراح مزيد من الدراسات المستقبلية.

المبحث الأول: إشكالية الدراسة

على الرغم من الفوائد الاقتصادية الواضحة للتنوع الاقتصادي؛ إلا أن معظم البلدان النامية والأخرى الغنية بالموارد الطبيعية لا تزال في تحدٍّ للمضي. قدمًا في هذا المشروع، كذلك لم تحقق كثير من البلدان التي أقدمت على مشروع التنوع الاقتصادي نجاحات واضحة في هذا المجال.

لقد تباينت نتائج الدراسات السابقة، وكذلك نتائج التجارب في البلدان النامية والمتقدمة حول تحقيق التنوع الاقتصادي؛ إذ تسهم عوامل متعدّدة في إنجاح هذه التجارب أو إفشالها؛ منها: الاختلاف في الجغرافيا، والسياسة، والهيكل الاقتصادي. (Klinger and Daniel 2010 ; Murphy et.al.,1993).

وقد لوحظ انخفاض في الدراسات التطبيقية التي بحثت التنوع الاقتصادي في البلدان النامية، ولم تستطع كثير من هذه الدراسات تقديم تصوّر واضح حول التنوع الاقتصادي في البلدان النامية غنية الموارد، والعوامل المؤثرة في تحقيق هذا التنوع الاقتصادي، والذي بدوره يسهم في تحقيق التنمية المستدامة.

من هنا؛ تأتي أهمية هذه الدراسة التي تقدم دليلاً عملياً لنموذج الدول النامية النفطية التي تسعى إلى التنوع الاقتصادي، وهو ما يعطي دليلاً يُسترشد به في الجدل القائم بين علماء الاقتصاد حول قدرة بعض البلدان النامية -الغنية بالموارد الطبيعية- من إدارة وتخّطي "نقمة الموارد"، بينما لم تستطع دول أخرى القيام بذلك؛ فالأوضاع في البلدان النامية قد تعرقل نجاح التنوع الاقتصادي، أو تشجع على ظهوره وتميّزه.

وتحاول هذه الدراسة إيجاد مخرج اقتصادي للعديد من الأزمات الاقتصادية والمالية التي تعيشها الدول النفطية؛ جرّاء الأضرار التي انبثقت عن انخفاض أسعار النفط. بالإضافة إلى وجود قصور في التنوع الاقتصادي الشائع في الدول المعتمدة اقتصادياً على النفط، ومن شأن هذه الدراسة إدخال تحسينات على الاقتصاد العربي من أجل التنمية المستدامة في دول الوطن العربي.

وبناءً على ما تقدم؛ فإن إشكالية الدراسة الأولى تتمثل في الإجابة عن التساؤل الآتي: هل استطاعت الدول العربية تحقيق التنوع الاقتصادي رغم اعتمادها على النفط؟ وما هي أفضل الرؤى التي يمكن للدول العربية اتباعها للاستفادة من التنوع الاقتصادي في ظل تأثير أسعار النفط لتحقيق النمو المستدام؟

المبحث الثاني: أهمية الدراسة وأهدافها

تطورت اقتصادات دول الوطن العربي تطورًا كبيرًا على مدى العقد الماضي، ولكن من المهم زيادة التنوع الاقتصادي. فقد نُقِّدَت هذه الدول العديد من السياسات لدعم التنوع الاقتصادي، بما في ذلك الإصلاحات الرامية إلى تعزيز بيئة الأعمال، وتطوير البنية التحتية، وزيادة التمويل للشركات (خاصة الشركات الصغيرة والمتوسطة). وفي حين أن حصة العائد غير النفطي في الناتج المحلي الإجمالي قد ازدادت باطراد؛ فإن تنوع الصادرات كان أكثر محدودية. (Callen, 2014).

ومن شأن المزيد من التنوع أن يجعل هذه الاقتصادات أقل اعتمادًا على عائدات النفط المتقلبة، وأن يخلق فرص عمل ذات قيمة مضافة للقطاع الخاص بالنسبة للمواطنين، وأن ينشئ الاقتصاد غير النفطي الذي تحتاجه دول المنطقة عند استنفاد احتياطات النفط في نهاية المطاف.

وبما أن معظم الدول العربية تعتمد على الموارد الطبيعية الناضبة في اقتصاداتها، فإن ذلك أدَّى إلى ضعف القدرة التنافسية التصديرية للمنتجات السلعية والخدمية غير المرتبطة بهذه الموارد، بالإضافة إلى بروز ظاهرة تضخم القطاعات الخدمية بفعل تملك الدولة للعوائد الربعية والاتجاه نحو زيادة البيروقراطية، وتآكل تنافسية الأنشطة غير الربعية، وضعف قدرتها على استيعاب العمالة (الكواز، 2011).

من هنا؛ فإن هذه الدراسة تهدف إلى التحقق من مدى نجاح السياسات المتَّخِدة في الدول العربية للحدِّ من المشكلات الناجمة عن الاقتصاد الواحد؛ من خلال الاتجاه نحو التنوع الاقتصادي عبر قياس مستويات التنوع الاقتصادي، ومن ثمَّ دراسة أثر أسعار النفط على التنوع الاقتصادي في تحقيق النمو الاقتصادي للبلاد. من أجل الخروج بتصوُّر واضح حول طبيعة النمو في الدول العربية ومحدداته، مما يعطي رؤى استراتيجية حول أهم السُّبل لتحقيق التنمية المستدامة.

وبناءً على هذا فقد تمت صياغة أهداف الدراسة الرئيسية كالآتي:

1. دراسة دور التنوع الاقتصادي في تحقيق النمو الاقتصادي؛ من أجل الحصول على أدلة تجريبية حول العلاقة المباشرة بين التنوع الاقتصادي والنمو.
2. دراسة تأثير أسعار النفط على العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي وتحقيق النمو الاقتصادي، من أجل الحصول على أدلة تجريبية حول العوامل غير الظاهرة في العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو.

وبناءً على الأهداف الرئيسية فقد تمت صياغة أهداف الدراسة الفرعية كالآتي:

1. تقييم التنوع الاقتصادي في دول الوطن العربي النفطية (أعضاء الأوبك)، وذلك من خلال دراسة وصفية تعتمد إلى تحليل واقع التنوع الاقتصادي بالمنطقة.
2. مقارنة التنوع الاقتصادي والنمو بين دول الوطن العربي النفطية (أعضاء الأوبك) من جانب وبين سنوات الدراسة من جانب آخر.
3. مقارنة حصص مختلف القطاعات الاقتصادية بين دول الوطن العربي النفطية (أعضاء الأوبك).
4. مقارنة حصص مختلف القطاعات الاقتصادية إبان فترات ارتفاع وانخفاض أسعار النفط.
5. البحث في دور صناديق الثروة السيادية في تحقيق التنوع الاقتصادي والنمو.
6. البحث في بيئة الحوكمة المؤسسية العامة لدول الوطن العربي؛ من خلال تقييم البيئة المؤسسية الداعمة للنمو الاقتصادي بشكل عام والتنوع الاقتصادي بشكل خاص.

المبحث الثالث: مساهمة الدراسة

تعيش دول الوطن العربي اليوم نمواً في الاقتصاد يوازيه نمواً في التنمية المستدامة (باهي, & رواينية, 2016)، وهي بذلك تسعى إلى اقتصاد أفضل عبر التنوع الاقتصادي، والاتجاه إلى اللامركزية في الاقتصاد، وتشجيع القطاع الخاص في المشاركة في نهضة الاقتصاد بالوطن العربي. وعليه؛ فإن الدراسة الحالية تعتمد إلى البحث في مؤشرات التنوع الاقتصادي وتحليلها؛ لتحديد بذلك التحديات التي تواجه التنوع الاقتصادي، والتي بدورها تؤثر في التنمية المستدامة. ومن ثم البحث في تأثير أسعار النفط على هذه العلاقة.

تستند الدراسة على مجموعة النظريات والدراسات السابقة الخاصة بموضوعي التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي. وبذلك فإن للدراسة الحالية مساهمتان؛ الأولى على المستوى النظري والأخرى على المستوى التطبيقي؛ إذ تكمن المساهمة النظرية للدراسة في أنها تجمع دور التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي، وعوامل أخرى تؤثر وتتأثر بشكل مباشر على التنويع الاقتصادي كصناديق الثروة السيادية وتوزيع الدخل.

أما على الصعيد التطبيقي؛ فإن هذه الدراسة يتوقع أن تقدم من النتائج ما يسهم في فهم طبيعة التنويع الاقتصادي في الدول النفطية، ومدى تأثير سياسة التنويع الاقتصادي بأسعار النفط، بالإضافة إلى تقديم رؤى حول دور التنويع الاقتصادي في تحقيق النمو، مما يعطي أصحاب القرار تصورًا واضحًا عن هذا الدور المهم للتنويع الاقتصادي في دول الوطن العربي النفطية.

الفصل الثاني

الإطار النظري، الدراسات السابقة، وفرضيات الدراسة

تمهيد

يعمد هذا الفصل من الدراسة إلى القاء الضوء على المفاهيم الاساسية لمتغيرات الدراسة، بشيء من الإيجاز، وبما يخدم التأطير النظري لفرضيات الدراسة.

المبحث الأول: تعريف التنوع الاقتصادي

في ظل الانخفاض الكبير الذي تشهده أسعار النفط، وتأثيراتها الكبيرة في موازنات الدول النفطية، ومن ثم في خطط التنمية المختلفة التي اعتادت مستويات كبيرة من الإنفاق، تعود قضية التنوع الاقتصادي لتستأثر بالاهتمام، وتحتل حيزًا كبيرًا من النقاش في دوائر الخبراء وصُنَّاع القرار في دول الوطن العربي. ويعد التنوع الاقتصادي من أكثر التحديات التي تواجهها الدول العربية، وأكثرها إلحاحًا.

وبما أن التنوع الاقتصادي يلعب دورًا أساسيًا في التنمية الاقتصادية المستدامة، ويزيد الإنتاجية، ويعزز الاستثمار، ويسهم في استقرار عائدات التصدير، وخاصةً في الدول المفعمة بالموارد الطبيعية، والتي تعتمد في اقتصاداتها على إيرادات النفط؛ فإننا في هذا المبحث سنتطرق إلى تعريف التنوع الاقتصادي.

يُعرَّف التنوع في كل مجال بتعريفٍ مختلفٍ؛ ففي الاقتصاد السياسي -وهو الأساس النظري لهذه الدراسة- يُقصد به "تنوع الصادرات"؛ وذلك للحدّ من الاعتماد على الموارد الطبيعية الناضبة التي قد تكون عُرضة لتقلبات الأسعار والاستنزاف (Martin, 2013).

وعمومًا؛ فإن التنوع الاقتصادي يسهم في تقليل الاعتماد على المورد الوحيد والانتقال إلى مرحلة تنوع الهيكل الاقتصادي من خلال خلق قاعدة إنتاجية صناعية وزراعية، وهذا يعني تأسيس اقتصاد محلي متنوع يتجه نحو تعدد القطاعات الاقتصادية (le yin, 2003).

وهناك تعريف أشمل للتنوع الاقتصادي، ويُعرّف على أنه عملية الاعتماد على مجموعة من الأصناف التي تساهم في تكوين الناتج المحلي، وهذه الأصناف تكون في صورة تنوع الصادرات أو

مصادر الدخل بعيداً عن الدخل من الاستثمار الخارجي، أو تنويع مصادر الإيرادات العامة (johon,2000)

وكخلاصة للتعريفات السابقة؛ فإن التنويع الاقتصادي هو العملية التي لا تكون خاضعة للقطاعات الاقتصادية القائمة على تصدير الموارد الطبيعية الخام، بل تشمل الأنشطة الاقتصادية الباحثة عن القدرة التنافسية والواعدة بخلق القيمة المضافة، والتي بدورها تسهم في تحقيق تنمية مستدامة طويلة المدى.

المبحث الثاني: التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي

يظل دور التنويع الاقتصادي في النمو نقطة محورية في الأدبيات النظرية (Dissart 2003; Noseleit 2015; Wagner 2000). تطرقت الأدبيات إلى البحث في أثر التنويع الاقتصادي على النمو الاقتصادي؛ وذلك من خلال دراسات تطبيقية؛ إذ كانت النتائج غير حاسمة في تحليل وتفسير نتائج التنويع الاقتصادي وعلاقته بالتنمية.

تنص نظريات التنويع (Spelman, 2006; and Chiang, 2009) على أن السياسات الإقليمية والمحلية الرامية إلى تعزيز النمو الاقتصادي هي مماثلة للمستثمر الذي يختار مجموعة من الأدوات المالية في إنشاء محفظة استثمارية. وُصِّتَت السياسة المحليون هم أساس اختيار مجموعة من الصناعات التي يستثمر فيها إنشاء "محفظة صناعية مجتمعية" (Conroy, 1974). وعندما يصبح اقتصاد المنطقة أكثر تنوعاً؛ يصبح أقل حساسية للتقلبات الناجمة عن عوامل خارج المنطقة (Nourse 1968 and Richardson, 1969). فمن المتوقع أن يؤدي التنويع إلى زيادة استقرار الاقتصادات المحلية، وتعزيز إمكانياتها للنمو (Killian and Hady, 1988)؛ حيث إن زيادة التنويع يمكن أن يعزّز الكفاءة الاقتصادية من خلال النمو الداخلي مما سيؤدي إلى نمو اقتصادي أقوى (Quigley, 1998).

وبينما يتم النظر إلى التنويع على أنه سلاح ذو فائدة للاقتصاد إلا أن النظرية التقليدية والكثير من الأدبيات السابقة تشير إلى وجود تناقض بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي. هذا التناقض يشير إلى أن المناطق ذات النمو الاقتصادي البطيء تتسم بالاستقرار والنمو الاقتصادي الذي ينبع

من التنوع الاقتصادي. وتشير هذه النظرية إلى أن التركيز على الميزة النسبية الوحيدة الحالية للمنطقة من شأنه أن يسفر عن أكبر نمو متوقع، ولكنه سيكون محفوفًا بالمخاطر بطبيعته وغير مستقر. ولذلك، يبدو أن النظرية تشير إلى أن واضعي السياسات الإقليمية يضطرون إلى الاختيار بين هدفين؛ هما النمو والتنوع الاقتصادي. وهذه المقايضة هي التي لا يرغب معظم صانعي السياسات- إن لم يكن جميعهم- في قبولها أو اتخاذ إجراء بشأنها عند تصميم السياسات. وعندما يحاول واضعو السياسات السعي لتحقيق الهدفين معًا، تظهر التناقضات.

وبالتالي، فإن السؤال، ما هي العلاقة بين التنوع الاقتصادي ونموه؟

الجواب على هذا السؤال، أن صانعي السياسات غالبًا ما يركزون بشكل ضيق على خَلْق فرص العمل ويأخذون نظرة قصيرة الأجل. يمكن أن يكون الوقوع في هذا الفخ القصير الأجل خطرًا؛ لأنه مع زيادة التنوع الاقتصادي سوف يتشكل ضغط على مستويات النمو. وبالإضافة إلى ذلك، إذا فشلت صناعة النمو المستهدفة، فإن المنطقة قد تكون أسوأ حالاً مما كانت عليه قبل تنفيذ هذه السياسات.

ولذلك، يمكن النظر إلى سياسات التنوع على أنها غلاف طويل الأجل لجهود المنطقة على المدى القصير في تعزيز النمو. وفي هذا الإطار، من الأهمية أن نتذكر أن السياسات في المدى القصير تهدف إلى تعزيز النمو، وتهدف السياسات الطويلة الأجل إلى تعزيز الاستقرار مع تعزيز إمكانات النمو. (Deller and Wagner , 1998)

وفي حين أن هذا النمو الاقتصادي الطويل الأجل لاستراتيجيات التنوع القصيرة من منظور نظري يوفّر نهجًا قابلاً للتطبيق، فإن التنوع لا يتوقف بالضرورة على تعزيز مجموعة من صناعات النمو. على سبيل المثال، إذا كانت المنطقة تعتمد بشكل مفرط على مجموعة صغيرة من الصناعات، فإن الحركة نحو توسيع القاعدة الصناعية قد تتطلب التحول بعيدًا عن الصناعات الأصلية. ومع حدوث هذا التحول، قد يكون هناك حد أدنى من نمو الوظائف والتحويلات من صناعة إلى أخرى. وقد يكون من الصعب تبرير هذا النوع من التحول، الذي يشجّع الهدف الطويل الأجل المتمثل في الاستقرار وتعزيز احتمالات النمو؛ نظرًا إلى هدف التنوع القصير الأجل (Elisinger , 1995).

وهناك عدد من الباحثين الذين تحدوا "النظرية التقليدية"، وأثبتوا أن مستويات أعلى من التنوع الاقتصادي تعزز النمو الاقتصادي (Attaran 1996; Akpadock 1996; Jackson 1984; Mizuno et.al 2006; Wagner 2000).

يبقى السؤال عما إذا كان الاقتصاد المحلي المتنوع مقترناً بمستويات أعلى من النمو الاقتصادي في ظل اعتماد الدول على النفط كمصدر أساسي للدخل؟ ولذلك فإن المبحث الثالث يناقش التنوع الاقتصادي، ودوره في تنمية قطاع النفط.

المبحث الثالث: التنوع الاقتصادي وتنمية قطاع النفط

الهدف من التنوع الاقتصادي في الدول النفطية هو الابتعاد عن عوائد النفط والغاز، فكيف يمكن لهذه الدول تنمية القطاع النفطي كجزء من استراتيجية التنوع الاقتصادي؟

الصناعات المعتمدة على النفط عادة ما تكون ممولة من الدول، ومن الواضح أن التنوع في صناعة النفط لن يقلل من الاعتماد على النفط؛ وذلك لأن هذه الصناعة تعتمد اعتماداً كلياً على انخفاض أسعار النفط. ويمكن القول: إن فرصة بقاء الصناعات المعتمدة على النفط ستكون قليلة أو شبه منعدمة في فترة ما بعد النفط.

إن أسهل الطرق للتنوع في الدول النفطية تمركزت من خلال توسيع الصناعات المعتمدة على النفط؛ وذلك لوجود فوائض رأسمالية مركزية، أما أصعب طرق للتنوع في هذه الدول فنجد في قطاع "إحلال الواردات"؛ حيث إن هذا القطاع يتطلب ريادة الأعمال ومغامرة القطاع الخاص (Hvidt, 2013).

ولتنمية قطاع النفط من خلال التنوع الاقتصادي يجب على الدول "إحلال الواردات"؛ من خلال تشجيع الاستثمار في القطاع الخاص والتصنيع الذي يعتمد على الموارد المتجددة. وكجزء من استراتيجية التنوع الاقتصادي في الدول النفطية عمدت الدول لإنشاء صناديق ثروة سيادية لاستثمار فوائض النفط في مشاريع أو صناعات متنوعة أخرى بعيدة عن النفط. في المبحث الرابع نستعرض التنوع الاقتصادي وصناديق الثروة السيادية.

المبحث الرابع: التنوع الاقتصادي وصناديق الثروة السيادية

جاء الانتشار المتنامي لصناديق الثروة السيادية، نتيجة للفوائض التي سجلتها الحسابات الجارية في الدول النفطية. وترجع هذه الفوائض إلى ارتفاع أسعار النفط، مما أدّى إلى تراكم في الأصول الأجنبية لدى البنوك المركزية؛ حيث شكّل هذا الفائض قدرًا كافيًا من الأمان لمواجهة الصدمات المالية والاقتصادية، رغم أن كثيرًا من هذه الدول لا تزال تواجه احتياجات تنموية هائلة.

وعرف (شريف مبروك، 2009) صناديق الثروة السيادية بأنها الصناديق المكلفة بإدارة واستثمار الأصول المملوكة للدولة (التابعة للحكومات). وتستخدم تلك الأموال في عمليات الاستثمار الطويلة الأجل في دول أجنبية. وتعمل الصناديق السيادية على إدارة الأموال، وتحقيق الاستقرار الاقتصادي الكلي لتجاوز تقلبات الدورات الاقتصادية من خلال التنوع الاقتصادي.

وقسم (شريف مبروك، 2009) هذه الصناديق إلى خمسة أنواع:

- 1- صناديق الاستقرار: والتي تحقق استقرار سعر صرف عملتها مقابل تقلبات ميزان المدفوعات.
- 2- صناديق احتياطي الأجيال القادمة: والتي تقوم بتحويل الأصول غير المتجددة إلى أصول أكثر تنوعًا.
- 3- شركات استثمار الاحتياطات: تدرج أصولها ضمن الأصول المحتفظ بها لدى المصرف المركزي.
- 4- صناديق التنمية: هي التي تساعد على تمويل المشاريع ذات الطابع الاجتماعي والاقتصادي والتي تسهم في تعزيز نمو الناتج المحلي.
- 5- صناديق احتياطات طوارئ التقاعد: والتي تغطي التزامات التقاعد الطارئة غير المحددة في الموازنة العامة.

وتعود هذه الصناديق على الدول بفوائد كثيرة، منها:

- 1- خلق أصول تُدرّ عائداً مربحاً طويل الأجل.
- 2- دعم برامج تنويع الاقتصاد.

3- المساعدة في مواجهة العجز في الميزانية العامة.

4- الادخار للأجيال القادمة.

ومن جانب آخر؛ فإن هذه الصناديق لها عيوب تنعكس سلبيًا على الدول، منها:

1- يعتبر انخفاض قيمة الدولار الأمريكي تحديًا بارزًا لصناديق الثروة السيادية؛ حيث تحتفظ

معظم الصناديق باحتياطات نقدية كبيرة في صورة أصول مقومة بالدولار، مما قد يؤدي انهيار الدولار إلى أزمة مالية.

2- يرى (El-kharouf et al., 2010) أن الصناديق السيادية تمثل جزءًا من الخلل الاقتصادي

والمالي في اقتصادات الدول المعتمدة على النفط. فمبدأ الصناديق السيادية في هذه الدول هو استثمار العوائد النفطية في البنية التحتية لتحويل الدخل النفطية إلى تدفق مالي يُستخدم في تنمية المجتمعات في المستقبل.

3- كما أشار (looney, 1994) إلى أن أحد أكبر المشاكل التي تواجه اقتصاد الدول النفطية هو

عدم وجود استراتيجية شاملة للتصنيع، ويشرح (sez nec, 2010) هذه الاستراتيجية على أنها استراتيجية إحلال الواردات كبديل للصناعات النفطية.

وبحسب معهد صناديق الثروة السيادية (SWFI) فإن في دول الأوبك 18 صندوق ثروة سياديًا،

إلا أن هذه جميع هذه الصناديق تُموّل من إيرادات النفط. الجدول (1) يستعرض كل دولة من دول أوبك، عدد صناديق الثروة السيادية الموجود فيها، ومصادر تمويلها.

من الجدول (1) يتضح أن جميع صناديق الثروة السيادية في دول أعضاء منظمة أوبك يعتمدون

على إيرادات النفط كمصدر للتمويل. بينما يوضح الجدول أن فقط ثلاثة دول من الدول الأعضاء وهم مصر، تونس، وسوريا لا يمتلكون صناديق ثروة سيادية للاستثمار.

ويبقى السؤال هل ساهمت صناديق الثروة السيادية في المزيد من التنوع الاقتصادي، والذي

يسهم في تحسين توزيع الدخل؟ نستعرض في المبحث الخامس التنوع الاقتصادي وتوزيع الدخل.

جدول (1) الصناديق السيادية في دول أوابك

الدول	العدد	أسماء الصناديق السيادية	المصدر
البحرين	1	ممتلكات القابضة	النفط
ليبيا	1	المؤسسة الليبية للاستثمار	النفط
قطر	2	مكتب قطر للاستثمار	النفط
		جهاز قطر للاستثمار	
الكويت	1	الهيئة العامة للاستثمار	النفط
الإمارات	9	شركة الاستثمارات البترولية الدولية	النفط
		جهاز الإمارات للاستثمار	
		مؤسسة دبي للاستثمارات الحكومية	
		شركة مبادلة للاستثمار	
		شركة مبادلة للتنمية	
		مجلس أبوظبي للاستثمار	
		الشارقة لإدارة الأصول القابضة	
		الوطنية القابضة	
		جهاز أبوظبي للاستثمار	
السعودية	2	صندوق الاستثمارات العامة الشركة السعودية للتنمية والاستثمار التقني	النفط
الجزائر	1	صندوق تنظيم الإيرادات	النفط
العراق	1	صندوق تنمية العراق	النفط

المصدر/ معهد صناديق الثروة السيادية (SWFI)

المبحث الخامس: التنوع الاقتصادي وتوزيع الدخل

رُكزت خطط الدول النفطية في الوطن العربي، على تنويع الاقتصاد وتقليل الاعتماد على النفط كمصدر دخل للحكومة وموجه للاقتصاد المحلي (رجا المرزوقي، 2011). وقد فشلت أغلب المحاولات للتقليل من اعتماد الاقتصاد على النفط، وزيادة مساهمة القطاعات الأخرى. حيث ما زال القطاع الحكومي مسنودًا بالقطاع النفطي وهو المحرك الأساسي لاقتصاد هذه الدول. ونتيجة سياسات التنوع الاقتصادي دون تغيير تركيبة الاقتصاد ستؤول إلى الفشل. فالقطاع النفطي يشكل جزءًا كبيرًا من الناتج المحلي الإجمالي في هذه الدول، وعائداته بالكامل مملوكة للحكومة لتعيد ضخها في الاقتصاد من خلال الإنفاق الحكومي.

هذا الوضع يجعل من الصعوبة تحقيق هدف التنوع الاقتصادي للتركيب الحالية لاقتصاد الدول النفطية؛ حيث يعتمد النموذج الأول على حرية السوق، وتعظيم الأرباح لتحقيق التوازن في الأسواق سواء أسواق السلع أو النقود، وفي هذه الحالة تعمل اليد الخفية، كما سماها آدم سميث، للوصول

إلى التوازن الاقتصادي الذي يحقق توظيف الموارد الاقتصادية والنمو الاقتصادي في الأجل الطويل. أما القطاع الحكومي؛ فإنه يعتمد على التخطيط المركزي وكفاءة الجهاز الحكومي لتحقيق التوزيع الأمثل للموارد الاقتصادية من خلال الإنفاق الحكومي (رجا المرزوقي، 2011).

وأثبتت الدراسات الاقتصادية التي درست الآثار الاقتصادية لكلا النموذجين؛ أن نموذج الاقتصاد الحر، وتركيز الحكومة على الأنظمة والتشريعات التي تضمن المنافسة العادلة ومنع الاحتكارات الاقتصادية هو الأفضل لتعظيم الرفاه الاقتصادي وتحقيق التنمية الاقتصادية المستدامة. وفي حالة الدول النامية كما هو في دول أوابك، فإن الحكومة مضطرة للتدخل في الاقتصاد في حالة فشل الأسواق، لكن يجب أن تحذر الحكومة من السيطرة على الاقتصاد وشلّ آلية السوق من العمل من خلال الدور الأكبر من اللازم للحكومة، وتبعية القطاع الخاص للقطاع الحكومي (رجا المرزوقي، 2011).

وحتى يتحقق هدف التنوع الاقتصادي وتقليل الاعتماد على النفط وتوزيع العائدات النفطية بشكل أكثر عدالة، فإنه يجب إعادة ضخ العوائد النفطية المتحققة لهم في قطاعات الاقتصاد الأخرى، مما يعزز مبدأ التنوع الاقتصادي من خلال آليات السوق. فالعائدات النفطية التي يتم ضخ جزء منها للمواطنين كعائدات على استثماراتهم في القطاع النفطي يتم إعادة تدويرها في الاقتصاد في القطاعات الاقتصادية. كما أن تملك جزء من العائدات النفطية للمواطنين يساهم في تحسين الدخل للمواطنين في حالة الطفرات النفطية لتنعكس الطفرات الاقتصادية بسبب العائدات النفطية على المواطنين. وآلية السوق في توجيه الاستثمارات في ظل توفر المعلومات الدقيقة والآنية والشفافية، ووجود الأنظمة والقوانين وتطبيقها مما يحفظ للمستثمرين والمستهلكين حقوقهم تُعتبر هي الأمثل لتحقيق التنمية الاقتصادية ومعدلات نمو مرتفعة تنعكس إيجاباً على نمو الدخل الفردي وعدالة التوزيع.

إنّ مبدأ التنوع الاقتصادي يعتبر محوراً أساسياً لمواجهة قضايا وتحديات التنمية المستدامة لاقتصاد الدول النفطية. فكلما اقتربت الدول من تطبيق مبادئ التنوع الاقتصادي، عندها يتم توزيع الدخل القومي بشكل أكثر فاعلية. في المبحث السادس نناقش دور التنوع الاقتصادي في تحقيق التنمية المستدامة.

المبحث السادس: دور التنوع الاقتصادي في تحقيق التنمية المستدامة

تسعى التنمية بصورة عامة إلى إدارة البيئة والموارد الموجودة فيها من أجل الرفاهية المستدامة للبشرية. وتعمل على تحسين نوعية الحياة البشرية في الوقت الراهن والمستقبل على حد سواء. وقد عرّف تقرير اللجنة العالمية المعنية بالبيئة والتنمية التابعة للأمم المتحدة في عام 1983 التنمية المستدامة على أنها "عملية التغيير في استغلال الموارد، وتنوع الاستثمارات، وتطوير التكنولوجيا؛ لتعزيز كل الإمكانيات الحالية والمستقبلية لتلبية الاحتياجات الإنسانية والتطلعات".

ويُنظر إلى التنوع الاقتصادي من منظور التنمية المستدامة بأنه عامل للاستقرار الاقتصادي على المدى الطويل، وذلك من خلال توسيع الأنشطة الاقتصادية من إنتاج وتصدير السلع والخدمات. حيث إن التنوع الاقتصادي لا يزيد من المخرجات فحسب، ولكنه يعزز استقرار ونمو الاقتصادات، وذلك من خلال توسيع قاعدته الاقتصادية. كما أن التنوع الاقتصادي يضمن مواجهة نضوب الموارد الطبيعية، ويلي الاحتياجات الأساسية للتنمية المستدامة؛ مثل: توفير فرص العمل، وفتح أنشطة اقتصادية، وتوسيع قدرة البيئة على ضمان التنمية المستدامة؛ من خلال تطوير التكنولوجيا. والخلاصة يمكن القول: إن التنوع الاقتصادي يُنشئ اقتصادًا قائمًا على الوفرة وتأمين العدالة بين الأجيال على حد سواء (Michael، 2015). وبما أن للتنوع الاقتصادي دورًا في تحقيق التنمية المستدامة إلا أن استراتيجية التنوع الاقتصادي في الدول العربية النفطية تواجه عدة تحديات تُحدّ من كفاءة استراتيجية التنوع الاقتصادي. في المبحث السابع نستعرض أهم محددات نجاح استراتيجية التنوع الاقتصادي.

المبحث السابع: محددات نجاح استراتيجية التنوع الاقتصادي في الدول الأعضاء لمنظمة الأقطار العربية المصدّرة للبترو

إن نظرة سريعة على واقع اقتصاد الدول النفطية في الوطن العربي، تكشف لنا أن معظم هذه الدول تعتمد بشكل أساسي في دخلها القومي على إنتاج سلعة واحدة، ألا وهي النفط أو عدد قليل ومحدود من السلع؛ حيث إن هذا الاقتصاد الوحيد والمعتمد على الموارد الطبيعية يجعل الاقتصاد العربي عُرضة للتقلبات. ومما لا شك فيه أن تغيير هذا الاقتصاد في فترة قصيرة نسبيًا أمر غير ممكن، بل يتطلّب الأمر تبني استراتيجية اقتصادية تنموية تأخذ بعين الاعتبار هذا الواقع وتكون منطلقًا لتوجه

عربي لتطبيق سياسة تنويع مصادر الدخل لتحقيق التنمية المستدامة في الاقتصاد العربي، وتجنُّب في الوقت ذاته ما قد ينشأ عن ذلك من اختناقات عديدة. ويتم ذلك من خلال استغلال كافة الإمكانيات المتاحة.

وقد استعرض (باهي & رواينية. 2016) في دراسته أهم محددات نجاح استراتيجية التنويع الاقتصادي في دول الوطن العربي، ويمكن تلخيصها كالآتي:

- (1) اقتصادات المورد الواحد.
- (2) اختلال البنية الهيكلية للاقتصادات العربية.
- (3) القطاع الخاص في معظم الدول العربية لا يزال صغير الحجم.
- (4) عدم قدرة قطاع النفط على استيعاب قوة العمل المتنامية، أو أن يكون مصدرًا مستدامًا للوظائف.
- (5) الحصة الكبيرة من فرص العمل في العديد من البلدان يتم توفيرها من طرف الحكومة (الوظائف الحكومية)، وتُموَّل من خلال عائدات النفط المتقلبة وغير المتجددة.

المبحث الثامن: فرضيات الدراسة

بناءً على المناقشات السابقة؛ فإنه يمكننا وضع فرضيات الدراسة الرئيسية بصيغتها العدمية والبديلة كما يلي:

أولاً: فرضيات النموذج الأول:

الفرضيات الأساسية

الفرضية العدمية (1): لا توجد علاقة بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الدول الأعضاء لمنظمة الأوبك.

الفرضية البديلة (1): توجد علاقة بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الدول الأعضاء لمنظمة الأوبك.

الفرضيات الفرعية

الفرضية البديلة (1.1): توجد علاقة بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في البحرين.

- الفرضية البديلة (1.2): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في ليبيا.
- الفرضية البديلة (1.3): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في قطر.
- الفرضية البديلة (1.4): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الكويت.
- الفرضية البديلة (1.5): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الإمارات.
- الفرضية البديلة (1.6): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في مصر.
- الفرضية البديلة (1.7): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في السعودية.
- الفرضية البديلة (1.8): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في سوريا.
- الفرضية البديلة (1.9): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الجزائر.
- الفرضية البديلة (1.10): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في تونس.
- الفرضية البديلة (1.11): توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في العراق.

ثانياً: فرضيات النموذج الثاني:

الفرضيات الأساسية

- الفرضية العدمية (2): لا يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الدول الأعضاء لمنظمة الأوبك.
- الفرضية البديلة (2): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الدول الأعضاء لمنظمة الأوبك.

الفرضيات الفرعية

- الفرضية البديلة (2.1): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في البحرين.
- الفرضية البديلة (2.2): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في ليبيا.
- الفرضية البديلة (2.3): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في قطر.
- الفرضية البديلة (2.4): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الكويت.

- الفرضية البديلة (2.5): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الإمارات.
- الفرضية البديلة (2.6): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في مصر.
- الفرضية البديلة (2.7): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في السعودية.
- الفرضية البديلة (2.8): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في سوريا.
- الفرضية البديلة (2.9): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الجزائر.
- الفرضية البديلة (2.10): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في تونس.
- الفرضية البديلة (2.11): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في العراق.

الفصل الثالث

منهجية الدراسة؛ نماذج الدراسة وأساليب جمع البيانات والتحقق

تمهيد

استناداً إلى مجموعة النظريات المفسرة لأهمية التنوع الاقتصادي ودوره في نمو واستدامة الاقتصاد من جانب، وتأثير أسعار النفط على اقتصادات الدول المصدرة للنفط من جانب آخر؛ فإن الفصل الثالث من هذه الدراسة يقدم المنهجيات التي استُخدمت في وضع الفرضيات والنماذج النظرية والقياسية المفسرة لها، وكذلك أساليب قياس متغيرات الدراسة ومصادر جمع البيانات.

المبحث الأول: السلسلة الزمنية ومصادر جمع البيانات

تسعى هذه الدراسة إلى البحث في التنوع الاقتصادي وأسعار النفط، ودورهما في نمو الاقتصاد في الدول الأعضاء لمنظمة أوابك. ولتحقيق هذا الهدف فإن الدراسة تستخدم سلسلة زمنية لفترة ثلاثة وعشرون عاماً تمتد من (1996-2018). وقد استندت هذه الدراسة إلى المصادر الثانوية في جمع البيانات كما هو موضح في الجدول (2)، وهي: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية، إحصائية الأمم المتحدة، وشبكة حلول التنمية المستدامة. تم اختيار أحد عشر دولة أعضاء في منظمة أوابك كعينة للدراسة وهم: البحرين، ليبيا، قطر، الكويت، الإمارات، مصر، السعودية، سوريا، الجزائر، وتونس، والعراق.

وذلك محاولة إلى وجود مخرج اقتصادي للعديد من الأزمات الاقتصادية والمالية التي تعيشها الدول النفطية جراء الأضرار التي انبثقت عن انخفاض أسعار النفط وتقلباته. بالإضافة إلى وجود قصور في التنوع الاقتصادي الشائع في الدول المعتمدة اقتصادياً على النفط، ومن شأن هذه الدراسة إدخال تحسينات على الاقتصاد العربي من أجل التنمية المستدامة في دول الوطن العربي.

جدول (2) مصادر البيانات

الرمز	مصدر البيانات	المتغيرات
		<i>المتغير المستقل</i>
DVI	United Nation Conference on Trade and Development (UNCTAD) إحصائية الأمم المتحدة	التنوع الاقتصادي
		<i>المتغير التابع</i>
GG		النمو في إجمالي الناتج المحلي
		<i>المتغير المتوسط</i>
OP	إحصائية الطاقة العالمية BP	أسعار النفط
		<i>المتغيرات الضابطة</i>
		أ. المتغيرات الضابطة لاقتصاد الدول:
INF	البنك الدولي bank World	التضخم
GDP	البنك الدولي bank World	إجمالي الناتج المحلي
UNE	البنك الدولي bank World	البطالة
BOP	البنك الدولي bank World	ميزان المدفوعات
GE	البنك الدولي bank World	الموازنة العامة
MF	البنك الدولي bank World	المؤشرات النقدية
		ب. المتغيرات الضابطة لخصائص النفط:
TOP	إحصائية الطاقة العالمية BP	إجمالي إنتاج النفط
TOC	إحصائية الطاقة العالمية BP	إجمالي استهلاك النفط
TOR	إحصائية الطاقة العالمية BP	إجمالي احتياطات النفط
		ج. المتغيرات الضابطة للخصائص السياسية:
GOV	البنك الدولي bank World	مؤشر الحوكمة المؤسسية العامة
		د. المتغيرات الضابطة لسياسية التنمية المستدامة
SDG	شبكة حلول التنمية المستدامة SDSN	مؤشر تحقيق أهداف التنمية المستدامة للاقتصاد

المبحث الثاني: النموذج النظري للدراسة

يوضح الشكل رقم (1) الإطار النظري للدراسة، ويقرر أن أهداف التنمية المستدامة للاقتصاد ترتكز على عاملين؛ هما: النمو الاقتصادي والتنوع الاقتصادي. إن هذين العاملين لهما أثر مهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة للاقتصاد حسب تقرير شبكة حلول التنمية المستدامة SDSN. لذا أضيف مؤشر التنوع الاقتصادي كمتغير مستقل.

وبما أن التنويع الاقتصادي هو المحرك الأساسي لدفع عجلة الاقتصاد واستدامته، فإن (Diversification Index) هو المؤشر الرئيسي. حسب تصنيف البنك الدولي للتنويع الاقتصادي. لذا فقد استُخدم هذا المؤشر للدلالة على مدى التنويع الاقتصادي في البلد.

وكما نعلم أن اقتصادات دول أعضاء أوابك تركز بشكل كبير على الاقتصاد النفطي، لذا فقد تم إدخال أسعار النفط كمتغير متوسط في العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي.

ولضبط العلاقة بين المتغير المستقل والمتوسط والتابع: فقد أُضيفت متغيرات ضابطة للنموذج؛ إذ إن هذه المتغيرات لها من التأثيرات على تكلفة ونوعية الاقتصاد في الدول، ومن أجل إعطاء نتائج أكثر دقة حول تأثير أسعار النفط على العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي؛ أُضيفت أربعة أنواع من المتغيرات الضابطة:

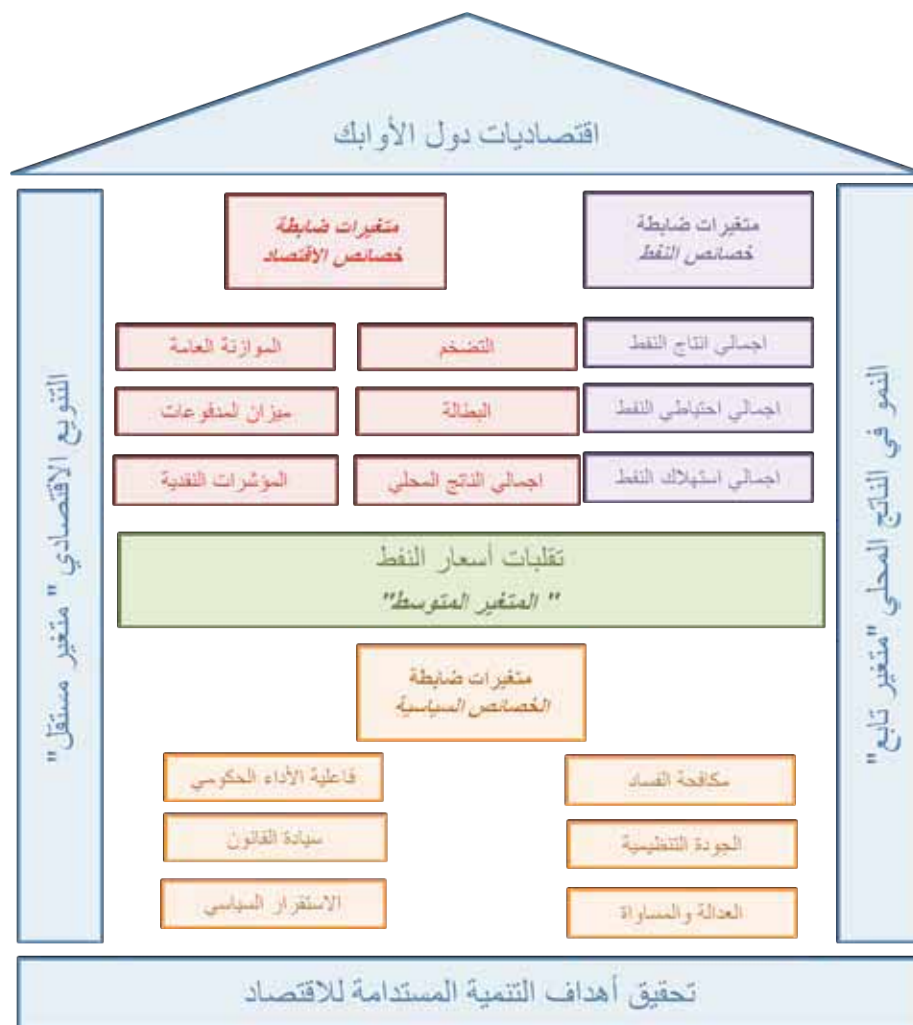
أولاً: متغيرات ضابطة متعلقة بالخصائص النفطية، وهي: إجمالي إنتاج النفط، إجمالي استهلاك النفط، وإجمالي احتياطي النفط.

ثانياً: متغيرات ضابطة متعلقة بالاقتصاد الكلي للدول، وهي: إجمالي الناتج المحلي، التضخم، البطالة، ميزان المدفوعات، الموازنة العامة، والمؤشرات النقدية.

ثالثاً: متغيرات ضابطة متعلقة بسياسة الدول، وهي: مكافحة الفساد، فاعلية الأداء الحكومي، سيادة القانون، الجودة التنظيمية، الاستقرار السياسي، والعدالة والمساواة.

رابعاً: متغيرات ضابطة متعلقة بتحقيق أهداف التنمية المستدامة: وهو مؤشر تحقيق الدول لأهداف التنمية المستدامة.

الشكل (1) النموذج النظري للدراسة



الشكل / من تصميم الباحث

المبحث الثالث: نموذج الدراسة التطبيقي

أولاً: النموذج التطبيقي الأول

تهدف هذه الدراسة إلى استقصاء أثر التنويع الاقتصادي على النمو الاقتصادي كهدف أولي. ثم تسعى إلى توسيع نطاق الدراسة لاختبار عدة عوامل تُحدّد من التنويع الاقتصادي. ويمكن نمذجة العلاقات المفترضة في هذه الدراسة كما يلي:

$$GG_{ig} = \beta_0 + \beta_1 DVI_{ig} + \varepsilon_{ig} \dots (1)$$

تعبّر الرموز عن: GG هو النمو في الناتج المحلي (GDP Growth)، DVI هو التنويع الاقتصادي (Diversification Index).

وبإدخال المتغيرات الضابطة لاقتصاد الدول للنموذج السابق، يمكن الحصول على المعادلة رقم (2) التالي:

$$GG_{ig} = \beta_0 + \beta_1 DVI_{ig} + \beta_2 GDP_{ig} + \beta_3 INF_{ig} + \beta_4 UNE_{ig} + \beta_5 BOP_{ig} + \beta_6 GE_{ig} + \beta_7 MF_{ig} + \varepsilon_{ig} \dots (2)$$

تعبّر الرموز عن: GDP هو إجمالي الناتج المحلي (Gross Domestic Product)، INF هو التضخم (Inflation)، UNE هو معدل البطالة (Unemployment)، BOP وهو الميزانية العامة (Balance of Payment)، GE وهو مدفوعات الدولة (General expenditure)، أما MF فهو المؤشرات النقدية (Monetary Funds).

وبإدخال المتغيرات الضابطة لخصائص النفط للنموذج السابق، يمكن الحصول على المعادلة رقم (3) التالي:

$$GG_{ig} = \beta_0 + \beta_1 DVI_{ig} + \beta_2 GDP_{ig} + \beta_3 INF_{ig} + \beta_4 UNE_{ig} + \beta_5 BOP_{ig} + \beta_6 GE_{ig} + \beta_7 MF_{ig} + \beta_8 TOP_{ig} + \beta_9 TOC_{ig} + \beta_{10} TOR_{ig} + \varepsilon_{ig} \dots (3)$$

TOP هو إجمالي إنتاج النفط السنوي (Total Oil Production)، TOC هو إجمالي استهلاك النفط السنوي (Total Oil Consumption)، TOR هو إجمالي احتياطي النفط السنوي (Total Oil Reserve) .

ومن ثم بإدخال المتغيرات الضابطة لسياسة الدول للنموذج السابق، يمكن الحصول على المعادلة رقم (4) التالي:

$$GG_{ig} = \beta_0 + \beta_1 DVI_{ig} + \beta_2 GDP_{ig} + \beta_3 INF_{ig} + \beta_4 UNE_{ig} + \beta_5 BOP_{ig} + \beta_6 GE_{ig} + \beta_7 MF_{ig} + \beta_8 TOP_{ig} + \beta_9 TOC_{ig} + \beta_{10} TOR_{ig} + \beta_{11} GOV_{ig} + \varepsilon_{ig} \dots (4)$$

GOV هو مؤشر الحوكمة المؤسسية العامة (Governance)، وهو مؤشر لمتوسط مجموع العوامل التالية (مكافحة الفساد، فاعلية الأداء الحكومي، سيادة القانون، الجودة التنظيمية، الاستقرار السياسي، والعدالة والمساواة).

ولضبط الجانب التنموي للبلاد أدخل مؤشر تحقيق أهداف التنمية المستدامة كمتغير ضابط للجانب التنموي، يمكن الحصول على المعادلة رقم (5) التالي:

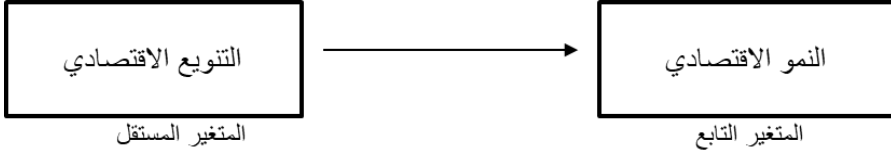
$$GG_{ig} = \beta_0 + \beta_1 DVI_{ig} + \beta_2 GDP_{ig} + \beta_3 INF_{ig} + \beta_4 UNE_{ig} + \beta_5 BOP_{ig} + \beta_6 GE_{ig} + \beta_7 MF_{ig} + \beta_8 TOP_{ig} + \beta_9 TOC_{ig} + \beta_{10} TOR_{ig} + \beta_{11} GOV_{ig} + \beta_{12} SDG_{ig} + \varepsilon_{ig} \dots (5)$$

SDG هو مؤشر تحقيق أهداف التنمية المستدامة (Sustainable Development Goal) حسب تقرير شبكة حلول التنمية المستدامة.

ومن هنا سوف يتم اختبار الهدف الأولي من خلال الإجابة عن السؤال: هل التنوع الاقتصادي يؤثر تأثيرًا إيجابيًا على تحقيق النمو الاقتصادي؟

وللإجابة عن هذا السؤال يقرأ نموذج الدراسة التطبيقي الأول من خلال الشكل (2) كالتالي:

الشكل (2) النموذج التطبيقي الأول للدراسة



الشكل/ من تصميم الباحث

ثانياً: النموذج التطبيقي الثاني

ومن أجل اختبار الهدف الثاني للدراسة حول ما إذا كان لأسعار النفط تأثير في العلاقة بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي، تم إضافة متغير متوسط، وهو أسعار النفط، لنحصل على نموذج الدراسة رقم (6) التالي:

$$GG_{tg} = \beta_0 + \beta_1(DVI * OP)_{tg} + \beta_2GDP_{tg} + \beta_3INF_{tg} + \beta_4UNE_{tg} + \beta_5BOP_{tg} + \beta_6GE_{tg} + \beta_7MF_{tg} + \beta_8TOP_{tg} + \beta_9TOC_{tg} + \beta_{10}TOR_{tg} + \beta_{11}GOV_{tg} + \beta_{12}SDG_{tg} + \varepsilon_{tg} \dots (6)$$

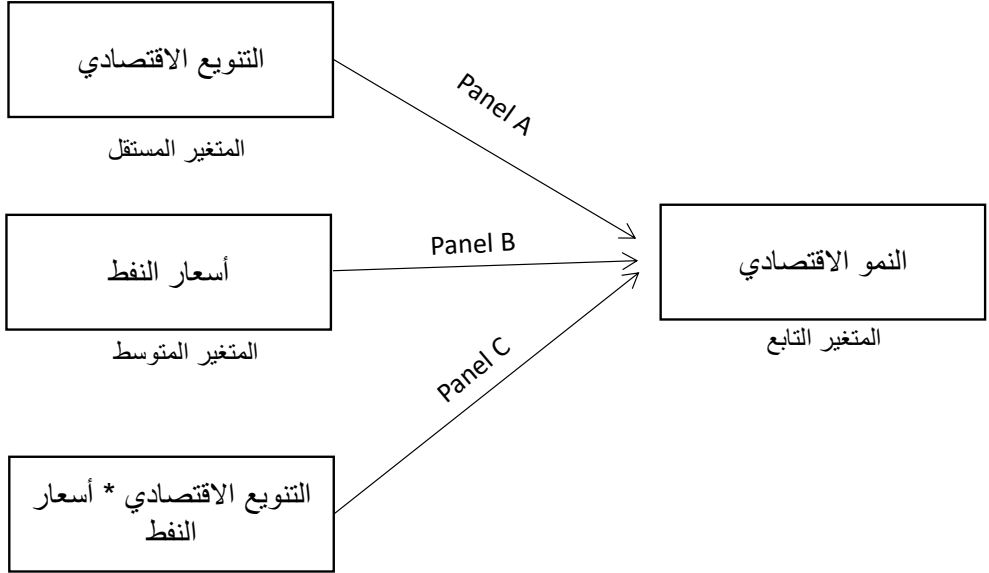
يعبر الرمز (DVI*OP) عن المتغيرين المتوسط والمستقل، وهم أسعار النفط والتنويع الاقتصادي وهو Oil Price و Diversification Index.

أما الرموز الصغيرة في المعادلات الست السابقة فترمز للتالي: ε تعبر عن الخطأ العشوائي، t عن السنوات، و g عن الدول.

ومن هنا سوف يتم اختبار الهدف الأولي، والأخذ بعين الاعتبار الهدف الثاني من خلال الإجابة عن السؤال: هل التنويع الاقتصادي يؤثر على النمو الاقتصادي لدول أعضاء منظمة الأوبك في ظل تأثير أسعار النفط؟

وللإجابة عن هذا السؤال يقرأ نموذج الدراسة التطبيقي الثاني من خلال الشكل (3) كالتالي:

الشكل (3) النموذج التطبيقي الثاني للدراسة



الشكل / من تصميم الباحث

المبحث الرابع: تعريف وأساليب قياس متغيرات الدراسة

يوضح هذا الجزء من الدراسة تعريف كل متغير من متغيرات الدراسة الأساسية الأساليب التي أتبعتم في قياس المتغيرات، وتلخيصها في الجدول رقم (3 و 4)

جدول (3) تعريف المتغيرات

الرمز	التعريف	المتغيرات
DVI	مؤشر تنوع الاقتصاد في البلد (Diversification Index) الذي يتم قياسه عن طريق قياس الانحراف المطلق للهيك التجاري لبلد ما عن الهيكل العالمي	المتغير المستقل التنوع الاقتصادي
GG	مؤشر زيادة في قدرة الاقتصاد إنتاج السلع والخدمات.	المتغير التابع النمو في إجمالي الناتج المحلي
OP	متوسط سعر النفط السنوي	المتغير المتوسط أسعار النفط
INF	هو المعدل الذي يرتفع فيه المستوى العام لأسعار السلع والخدمات، وبالتالي تنخفض القوة الشرائية للعملة.	المتغيرات الضابطة للاقتصاد الدول:
GDP	الناتج المحلي الإجمالي هو القيمة النقدية لجميع السلع الجاهزة والخدمات المنتجة داخل حدود البلد في فترة زمنية محددة. (لكل مليون)	التصخم إجمالي الناتج المحلي
UNE	هو معدل الأشخاص الذين لا يجدون عملاً مع مُحاولتهم الدائمة في البحث عن عمل	البطالة
BOP	هو مجموع صافي الصادرات من السلع والخدمات وصافي الدخل الأولي وصافي الدخل الثانوي.	ميزان المدفوعات الموازنة العامة
GE	جميع النفقات الحكومية لشراء السلع والخدمات (بما في ذلك تعويضات الموظفين). كما يشمل معظم النفقات على الدفاع والأمن القومي، وهو مجموع النفود خارج البنوك الودائع تحت الطلب؛ الودائع الجارية والودائع بالعملة الأجنبية؛ الشيكات المصرفية والأوراق المالية الأخرى مثل شهادات الإيداع والأوراق التجارية.	المؤشرات النقدية
MF	شهادات الإيداع والأوراق التجارية.	ب. المتغيرات الضابطة لخصائص النفط:
TOP	متوسط إجمالي الإنتاج من النفط السنوي (ويُقاس بليون طن للسنة)	إجمالي إنتاج النفط
TOC	متوسط إجمالي الاستهلاك من النفط السنوي (ويُقاس بليون طن للسنة)	إجمالي استهلاك النفط
TOR	إجمالي الاحتياطي من النفط السنوي (ويُقاس برميل في نهاية السنة)	إجمالي احتياطات النفط
SDG	مؤشر قدرة الدول على تحقيق أهداف التنمية المستدامة	ج. المتغيرات الضابطة للخصائص السياسية: د. المتغيرات الضابطة لسياسة التنمية المستدامة مؤشر تحقيق أهداف التنمية المستدامة للاقتصاد

مصادر التعاريف: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية، وشبكة حلول التنمية المستدامة، إحصائيات الأمم المتحدة

جدول (4) أساليب ووحدات قياس متغيرات الدراسة

المتغيرات	الرمز	وحدات القياس
المتغير المستقل		
التنوع الاقتصادي	DVI	مؤشر بين الصفر وال 1، أي دولة ذات الاقتصاد المتنوع سيكون المؤشر قريب من الصفر. وبالمثل ، فإن الدولة ذات الاقتصاد الغير متنوع سيكون لها مؤشر قريب من الواحد. (0-1)
المتغير التابع		
النمو في إجمالي الناتج المحلي	GG	النسبة المئوية لعمدل نمو الناتج المحلي الإجمالي السنوي بأسعار السوق على أساس العملة المحلية الثابتة(%)
المتغير المتوسط		
أسعار النفط	OP	متوسط سعر النفط السنوي (يقاس بالدولار الأمريكي لكل برميل) (\$/BB)
المتغيرات الضابطة		
أ. المتغيرات الضابطة لاقتصاد الدول:		
التضخم	INF	نسبة مئوية سنوية تعكس التضخم في أسعار السلع والخدمات (%)
اجمالي الناتج المحلي	GDP	اجمالي الناتج المحلي للدولة بالدولار الأمريكي (يقاس بالمليون دولار). (\$/M)
البطالة	UNE	نسبة مئوية لعمدل الأشخاص الذين لا يعملون مقارنة بعدد السكان (%)
ميزان المدفوعات	BOP	هو مجموع صافي الصادرات من السلع والخدمات (يقاس بالمليون دولار). (\$/M)
الموازنة العامة	GE	جميع النفقات الحكومية لشراء السلع والخدمات (يقاس بالمليون دولار). (\$/M)
المؤثرات النقدية	MF	هو مجموع النقود للدولة (يقاس بالمليون دولار). (\$/M)
ب. المتغيرات الضابطة لخصائص النفط:		
اجمالي إنتاج النفط	TOP	متوسط إجمالي الإنتاج من النفط السنوي (ويقاس بالطن)(ton/Y)
اجمالي استهلاك النفط	TOC	متوسط إجمالي الاستهلاك من النفط السنوي (ويقاس بالطن)(ton/Y)
اجمالي احتياطيات النفط	TOR	متوسط إجمالي الاحتياطي من النفط السنوي (ويقاس بالبرميل في نهاية السنة)(BB/Y)
ج. المتغيرات الضابطة للخصائص السياسية:		
مؤشر حكومة المؤسسة العامة	GOV	نسبة مئوية تعكس متوسط ال 6 مؤثرات للحكومة المؤسسة العامة (%)
د. المتغيرات الضابطة لسياسة التنمية المستدامة		
مؤشر تحقيق أهداف التنمية المستدامة للاقتصاد	SDG	نسبة مئوية تعكس نسبة قدرة الدول على تحقيق أهداف التنمية المستدامة.(%)

مصادر ووحدات القياس: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية، وشبكة حلول التنمية المستدامة، إحصائيات الأمم المتحدة

الفصل الرابع

الدراسة الوصفية وتحليل المسار

تمهيد

يقع هذا الفصل في مبحثين؛ يُلقى المبحث الأول الضوء على التحليل الوصفي؛ حيث يشمل أربعة تحليلات وصفية في عدة جوانب، ثم يقدم المبحث الثاني دراسة تحليل مسار، ويتطرق هذا المبحث إلى عوامل أخرى قد تؤثر في العلاقة بين المتغيرات كتأثير صناديق الثروة السيادية والحوكمة المؤسسية العامة.

المبحث الأول: التحليل الوصفي

أولاً: تحليل وصفي لمتغيرات الدراسة

يقدم الجدول رقم 5 وصفاً أولياً لمتغيرات الدراسة، وقد تم قياسها من خلال أربعة عشر متغيراً، هم: المتغير التابع (النمو الاقتصادي)، المتغير المستقل (التنوع الاقتصادي)، المتغير المتوسط (أسعار النفط)، ستة متغيرات ضابطة للاقتصاد، ثلاثة متغيرات ضابطة لخصائص النفط، متغير ضابط للسياسة، ومتغير ضابط للتنمية المستدامة.

ومن الجدول 5 يُلاحظ أن هناك نسبة منخفضة من التنوع الاقتصادي في دول أوابك؛ إذ جاء المتوسط بنسبة 0.75، فكلما اقترب المؤشر من الصفر دلّ على وجود تنوع اقتصادي، أما المتوسط فهو أقرب للواحد مما يشير إلى انخفاض التنوع في الاقتصاد في هذه الدول. والعكس يقال بالنسبة لمتغير تحقيق النمو الاقتصادي الذي حقق نسبة تقارب 4.3% فقط خلال فترة الدراسة، وهي نسبة جيدة مقارنة بمؤشر بقية دول العالم. إن انخفاض نسبة التنوع الاقتصادي الذي يقابله نمو جيد هو مؤشر يعطينا دلالات مبدئية واضحة حول وجود عوامل تؤثر في العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الدول النفطية، وما يتطلبه ذلك من اهتمام متزايد من قِبَل الباحثين وضُباع القرار والقائمين على النظام الاقتصادي لإيجاد الأسباب التي تُحدّ من إسهام التنوع الاقتصادي في النمو الاقتصادي في هذه الدول.

الجدول (5) الإحصاء الوصفي لمتغيرات الدراسة

الانحراف المعياري	أقل قيمة	أكبر قيمة	المتوسط	الرمز	المتغيرات
0.10	0.51	0.90	0.75	DVI	المتغير المستقل التنوع الاقتصادي (1-0)
3.45	-2.82	17.32	4.30	GG	المتغيرات التابعة النمو في إجمالي الناتج المحلي (%)
30.10	12.72	111.67	67.99	OP	المتغير المتوسط أسعار النفط (\$)
11.91	-26.10	32.31	5.88	INF	المتغيرات الضابطة أ. المتغيرات الضابطة لاقتصاد الدول:
176430.50	37711.86	756350.30	226474.60	GDP	التضخم (%)
4.98	0.14	17.97	8.26	UNE	إجمالي الناتج المحلي (\$)
40355.38	-56723.79	164763.70	22155.11	BOP	البطالة (%)
113951.20	7016.51	688586.10	71736.92	GE	ميزان المدفوعات (\$)
20.99	20.25	108.24	64.93	MF	الموازنة العامة (\$)
181.53	32.18	586.71	185.35	TOP	المؤشرات النقدية (\$)
43.96	8.22	167.51	45.26	TOC	ب. المتغيرات الضابطة لخصائص النفط:
102.51	3.33	295.96	102.83	TOR	إجمالي إنتاج النفط (ton)
17.78	3.47	71.56	35.57	GOV	إجمالي استهلاك النفط (ton)
					إجمالي احتياطيات النفط (BB)
					ج. المتغيرات الضابطة للخصائص السياسية:
					مؤشر الحوكمة المؤسسية العامة (%)
					د. المتغيرات الضابطة لسياسية التنمية
					المستدامة
3.55	56.60	68.80	63.13	SDG	مؤشر أهداف التنمية المستدامة للاقتصاد (%)

مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية، وشبكة حلول التنمية المستدامة، إحصائيات الأمم المتحدة

ثانياً: تحليل وصفي لمتغيرات الدراسة خلال سنوات الدراسة

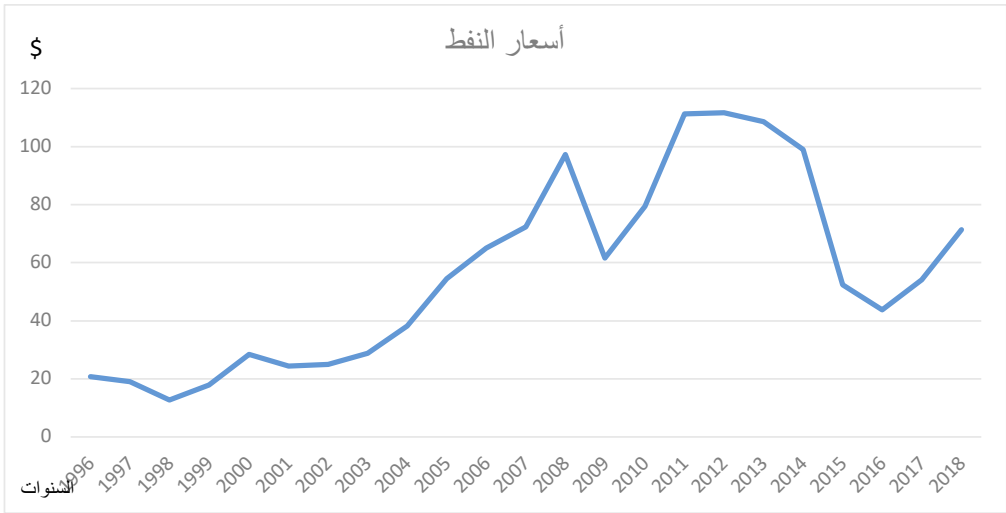
عمدت الدراسة في هذا الجزء إلى مقارنة متغيرات الدراسة خلال سنوات الدراسة، قسمت الدراسة السنوات إلى جُقب زمنية تمتد إلى 5 سنوات، ويظهر الجدول 6 متغيرات الدراسة الأساسية خلال الجُقب الزمنية؛ حيث اتضح أن في الفترة الأخيرة من سنوات الدراسة كان التنوع الاقتصادي في دول أوبك أفضل؛ حيث كانت نسبة التنوع (0.76) في سنة 1996 بينما ارتفعت إلى (0.71) في سنة 2015، وذلك يدل على اهتمام هذه الدول بسياسة التنوع الاقتصادي والعمل على تعزيزها. إلا أن هذه النسبة تظل منخفضة مما يعني أن هناك أسباب أخرى أدت إلى انخفاض التنوع الاقتصادي في دول أوبك؛ وهذا ما يدفعنا في الفصول القادمة لتحليل كافة العوامل التي من الممكن أن تؤثر في التنوع الاقتصادي في هذه الدول سواء كانت عوامل تخص النفط، عوامل اقتصادية أخرى، عوامل سياسية، أو تنموية.

الجدول (6) الإحصاء الوصفي لمتغيرات الدراسة خلال سنوات الدراسة

2015	2010	2005	2000	1996	المتغيرات
					المتغير المستقل
0.71	0.71	0.73	0.78	0.76	التنوع الاقتصادي (1-0)
					المتغيرات التابعة
2.03	5.19	6.46	4.82	4.98	النمو في إجمالي الناتج المحلي (%)
					المتغير المتوسط
52.39	79.50	54.52	28.50	20.67	أسعار النفط (\$)
					المتغيرات الضابطة
					أ. المتغيرات الضابطة لاقتصاد الدول:
-13.07	11.60	18.42	16.95	7.57	التضخم (%)
206700.85	172168.59	91061.71	53825.91	41338.32	إجمالي الناتج المحلي (\$)
8.03	7.87	9.78	11.10	15.48	البطالة (%)
-10597.70	14782.66	17380.79	5051.09	1236.45	ميزان المدفوعات (\$)
77161.24	33401.73	19769.59	26123.31	21802.82	الموازنة العامة (\$)
90.26	64.53	52.73	53.00	55.73	المؤشرات النقدية (\$) ب. المتغيرات الضابطة لخصائص النفط:
143.90	123.42	157.91	113.11	99.14	إجمالي إنتاج النفط (ton)
47.56	39.10	29.44	23.26	21.76	إجمالي استهلاك النفط (ton)
69.92	68.63	68.61	66.59	64.51	إجمالي احتياطات النفط (BB) ج. المتغيرات الضابطة للخصائص السياسية:
34.59	39.71	40.43	39.58	37.77	مؤشر الحوكمة المؤسسية العامة (%)
					د. المتغيرات الضابطة لسياسية التنمية المستدامة
					مؤشر أهداف التنمية المستدامة للاقتصاد (%)
63.59	63.59	63.59	63.59	63.59	

وكما بينت هذه الدراسة الوصفية تراجعًا واضحًا في أسعار النفط بعد سنة 2010، وذلك عقب أحداث الربيع العربي الذي شهدته معظم دول أوابك في سنة 2011. إن هذا التراجع في أسعار النفط يؤكد أن لهذه الدول تأثيرًا كبيرًا على أسعار النفط العالمية. ويوضح الشكل 4 هذا التراجع في أسعار النفط.

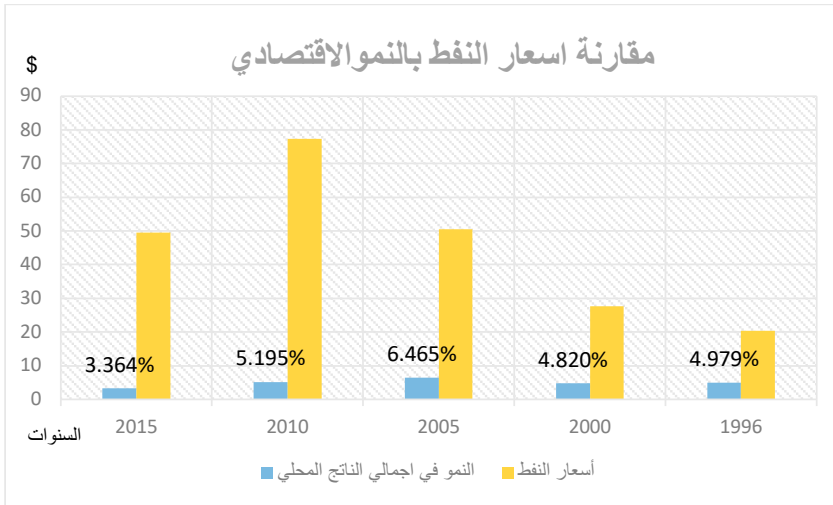
الشكل (4) أسعار النفط خلال الحقبات الزمنية



مصادر البيانات: إحصائية الطاقة العالمية

وكذلك اتضح من هذه الدراسة أن الحقبة الزمنية (2010-2005) شهدت ارتفاعاً في أسعار النفط يوازيه نمو ملحوظ في الناتج المحلي، أما الحقبة الزمنية (2015-2010) فقد شهدت انخفاضاً في أسعار النفط يوازيه تراجع ملحوظ في الناتج المحلي. العلاقة الطردية بين أسعار النفط والنمو في إجمالي الناتج المحلي في هذه الدول تدل على أن النمو الاقتصادي في هذه الدول مقترن بأسعار النفط، مما يعطينا دلالة واضحة أن هذه الدول تعتمد وبشكل كلي في اقتصاداتها على إيرادات النفط. ويمكن ملاحظة ذلك من خلال الشكل 5.

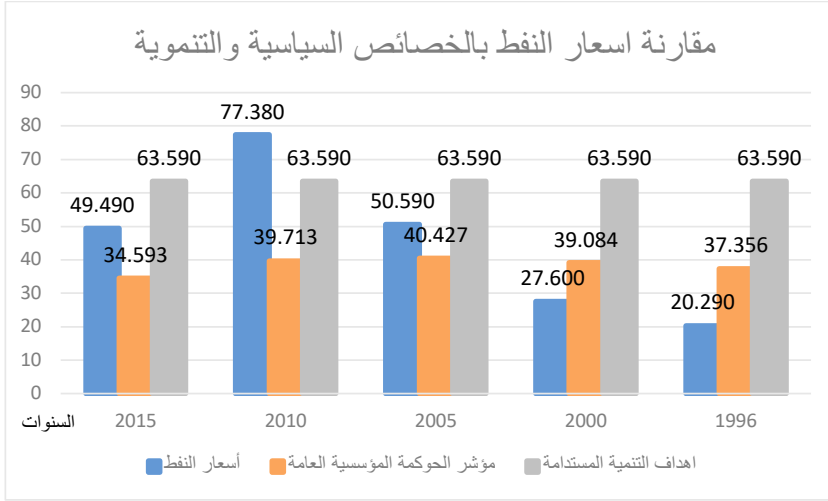
الشكل (5) مقارنة أسعار النفط بالنمو الاقتصادي خلال الحقبات الزمنية



مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية

أما إذا قارنا الخصائص السياسية والتنموية بأسعار النفط خلال سنوات الدراسة. فنجد أن خصائص الدول السياسية والتنموية لا تشهد ارتفاعاً أو انخفاضاً ملحوظاً يوازي التغير في أسعار النفط (الشكل 6).

الشكل (6) مقارنة أسعار النفط بالخصائص السياسية والتنموية خلال الحقبات الزمنية



مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية، وشبكة حلول التنمية المستدامة

ثالثاً: تحليل وصفي لمتغيرات الدراسة في الدول

عمدت الدراسة في هذا الجزء إلى مقارنة متغيرات الدراسة بين الدول. ويظهر الجدول 7 أن متوسط التنوع في الإمارات وتونس (0.58) خلال سنوات الدراسة هو الأعلى حيث قارب الصفر، أما العراق فهي الأقل تنوعاً في الاقتصاد حيث قارب مؤشر التنوع الاقتصادي إلى الواحد (0.84) (الشكل 7) أما عن النمو الاقتصادي بين دول أوابك فيوضح الشكل 8 أن إجمالي الناتج المحلي القطري ارتفع كثيراً عن باقي الدول (ما يقارب 10%) (الشكل 8).

أما عن المتغيرات الضابطة لاقتصاد هذه الدول، فمن خلال الجدول 7 يُلاحظ أن أكبر ميزانية للدول هي ميزانية المملكة العربية السعودية، بينما كان متوسط استهلاك حكومة الكويت في هذه السنوات هو الأكثر بين الدول؛ حيث كان ميزان مدفوعاتها هو الأعلى. وأما أعلى قيمة للمؤشرات النقدية فكانت في مصر. كما ويُلاحظ أن المملكة العربية السعودية هي الأعلى في إجمالي الناتج المحلي، وليبيا هي الأعلى في نسبة البطالة، والعراق هي الأكثر تضخماً بين اقتصاديات هذه الدول.

أما عن المتغيرات الضابطة لخصائص النفط، وكما الجدول 7 أن المملكة العربية السعودية هي الأكثر إنتاجًا، استهلاكًا، واحتياطيًا للنفط.

أما بخصوص المتغيرات الضابطة للسياسة والتنمية المستدامة، فيلاحظ من الشكل 9 أن دول الأوابك متقاربة في سعيها لتحقيق أهداف التنمية المستدامة؛ حيث كانت نسبة تحقيقها للأهداف بين 58 إلى 68.

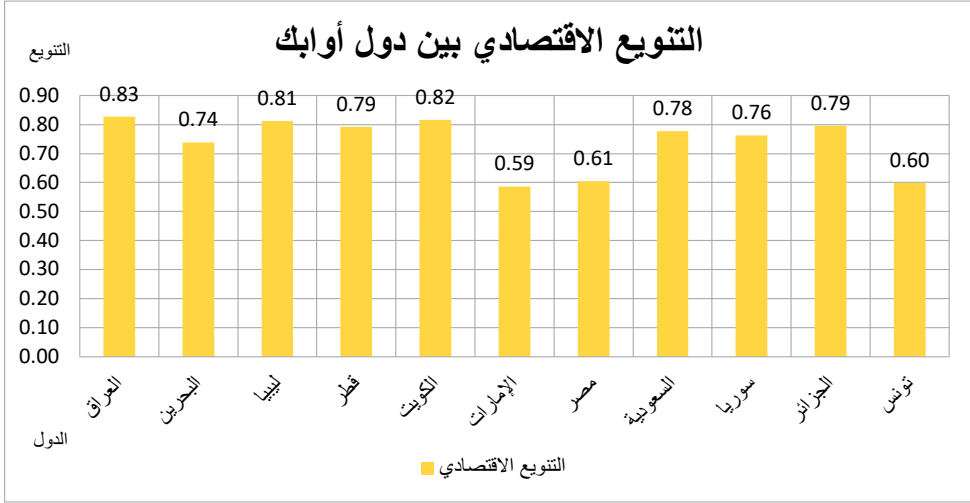
ولكن وكما يوضح الشكل 9 لوحظ أن هناك اختلافًا كبيرًا بين هذه الدول في مستوى الحوكمة المؤسسية العامة. مما يدفعنا للبحث في ظروف الحوكمة المؤسسية العامة المؤثرة في نوعية اقتصاد الوطن العربي في المبحث الثاني من هذا الفصل.

الجدول (7) الإحصاء الوصفي لمتغيرات الدراسة في الدول

العراق	البحرين	ليبيا	قطر	الكويت	الإمارات	مصر	السعودية	سوريا	الجزائر	تونس	المتغيرات
0.84	0.73	0.81	0.80	0.81	0.58	0.60	0.78	0.71	0.80	0.58	المتغير المستقل التبويب الاقتصادي (0-1)
7.88	4.47	5.07	9.45	3.41	4.28	4.43	3.14	3.94	3.46	3.69	المتغير التابع النمو في إجمالي الناتج المحلي (%)
13.04	4.17	8.21	5.52	5.04	4.32	9.52	4.99	7.06	7.47	4.43	المتغيرات الضابطة
98356.23	20422.88	44892.71	91661.84	93555.64	237046.10	170800.67	432601.69	22574.12	123610.87	34688.36	أ. المتغيرات الضابطة للاقتصاد الدول: التضخم (%)
17.04	1.31	18.86	1.45	1.84	3.35	10.39	5.58	9.88	17.44	14.86	إجمالي الناتج المحلي (\$) البطالة (%)
13274.19	780.11	6881.29	31569.22	27239.59	*	-3177.92	50168.21	438.59	5650.18	-1800.23	ميزان المدفوعات (\$) الموازنة العامة (\$) المؤثرات النقدية (\$) ب. المتغيرات الضابطة لخصائص النفط:
60446.39	7854.75	29377.60	44441.26	53866.48	110592.12	51236.65	170089.87	8630.82	39211.21	10366.29	إجمالي إنتاج النفط (ton) إجمالي استهلاك النفط (ton) إجمالي احتياطات النفط (Bb) ج. المتغيرات الضابطة للخصائص السياسية:
32.20	71.35	81.88	61.35	76.17	58.20	84.17	53.76	65.59	61.79	59.29	مؤشر الحوكمة المؤسسية العامة (%) د. المتغيرات الضابطة لسياسة التنمية المستدامة
128.40	*	62.54	58.76	127.77	141.58	36.39	492.44	528.72	71.37	3.64	مؤشر أهداف التنمية المستدامة للاقتصاد (%)
27.72	*	*	5.74	16.71	29.44	31.59	112.14	*	13.19	*	معلومات غير متوفرة *
124.71	*	41.54	22.56	99.87	97.80	3.79	266.89	17.98	11.87	0.46	
6.26	54.18	13.59	65.36	55.10	66.65	31.31	43.14	15.56	23.09	47.45	
56.60	64.60	*	63.10	62.40	66.00	64.90	62.70	58.10	68.80	68.70	

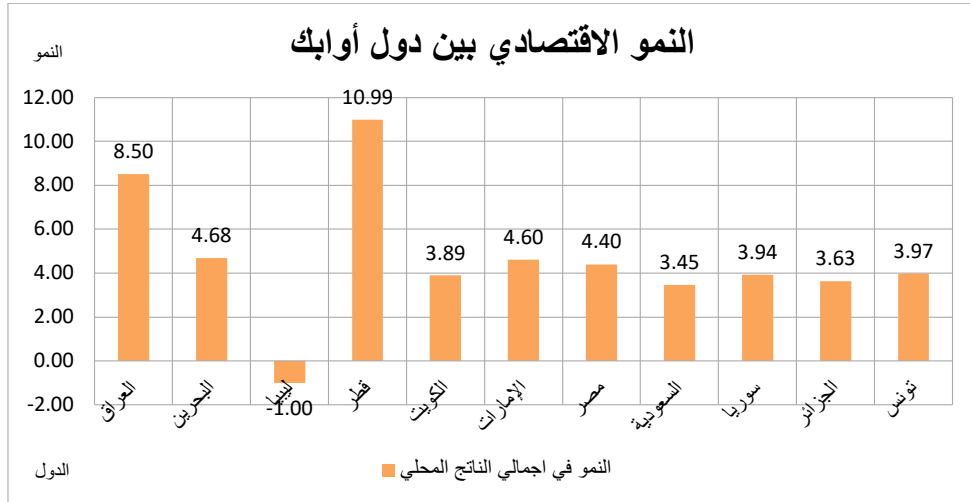
مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية، وشبكة حلول التنمية المستدامة، إحصائيات الأمم المتحدة

الشكل (7) مقارنة التنوع الاقتصادي بين دول منظمة أعضاء أوبك



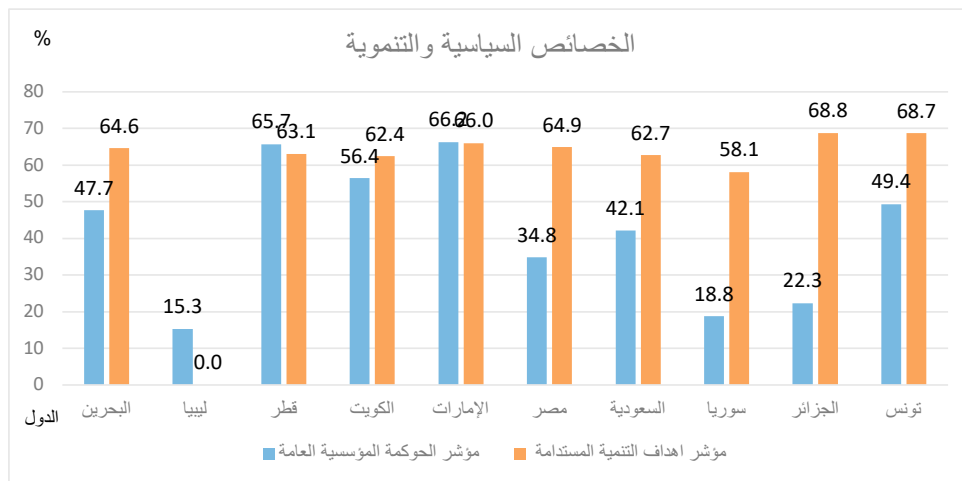
مصادر البيانات: احصائيات الأمم المتحدة

الشكل (8) مقارنة النمو الاقتصادي بين دول منظمة أعضاء أوبك



مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي

الشكل (9) مقارنة الخصائص السياسية والتنموية بين دول منظمة أعضاء أوابك

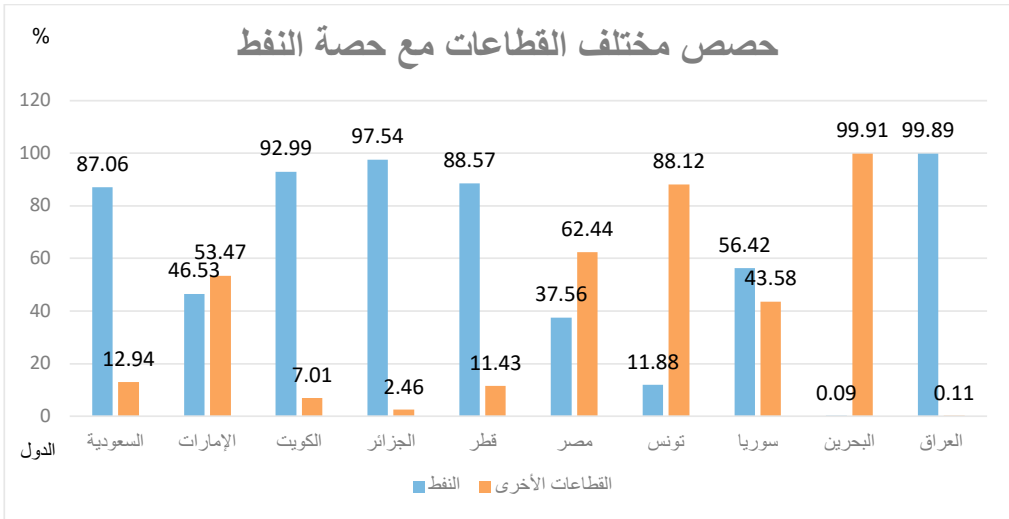


مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي ، وشبكة حلول التنمية المستدامة

رابعًا: تحليل وصفي للقطاعات الاقتصادية في الدول

يقارن الشكل 10 حصص مختلف القطاعات الاقتصادية مقارنة بالقطاع النفطي في دول الأوبك، فيتضح من الشكل أن البحرين هي الأقل اعتمادًا على القطاع النفطي. أما العراق فهي الأكثر اعتمادًا على القطاع النفطي. بينما اعتمد اقتصاد بعض الدول على القطاع النفطي بنسبة تفوق 50% من مجمل القطاعات الاقتصادية الأخرى كالسعودية، الجزائر، الكويت، قطر، وسوريا.

الشكل (10) مقارنة لخصص مختلف القطاعات مع حصة النفط



مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي

وبشكل أكثر تفصيلاً، يظهر الجدول 8 نسبة التصدير من قطاع النفط والقطاعات الأخرى في دول أوبك، فتبين أن النفط هو الأكثر نسبة في صادرات الإمارات، السعودية، قطر، الكويت، الجزائر، والعراق. أما في تونس ومصر فتفوق تصدير قطاع السلع الاستهلاكية على بقية القطاعات. بينما تصدرت صناعة البلاستيك جميع الصادرات في ليبيا. أما سوريا فقد تميز اقتصادها بتصدير المواد الأولية. وأخيراً كانت صادرات السلع الغذائية في البحرين هي الأكثر تصديراً.

الجدول (8) الإحصاء الوصفي للقطاعات الاقتصادية في الدول

العراق	الجزائر	البحرين	مصر	الكويت	ليبيا	قطر	السعودية	سوريا	تونس	الإمارات
0.01	0.028		1.034	0.118	0.000	0.049	0.388	4.305	1.585	0.192
			13.993	0.154	0.000	0.399	0.231	11.475	31.659	2.333
	0.132	2.058	9.000	0.077		0.011	0.183	8.719	5.994	0.912
	0.057	0.090	1.091	0.144		0.026	0.336	0.594	1.355	0.368
0.02	0.060	66.062	0.459	0.016	2.585	0.006	0.047	0.427	0.845	0.102
0.08	1.014	3.353	7.361	1.338	1.840	2.666	4.688	2.649	9.521	1.183
99.89	97.539	0.089	37.563	92.988	0.000	88.571	87.065	56.417	11.882	46.533
	0.519	2.641	8.439	0.465	0.000	1.354	1.060	1.932	3.045	2.483
	0.166	14.708	2.299	0.011	0.000	0.194	0.143	1.063	1.372	0.368
	0.069	0.551	3.328	2.591	80.663	2.296	3.201	1.497	1.925	1.298
	0.027	4.753	4.792	0.299	0.000	0.046	0.395	0.435	1.006	9.189
	45.991	0.785	19.269	61.569	0.003	37.386	75.686	60.622	12.892	32.830
	0.137	0.702	1.344	0.689	0.000	0.552	1.317	1.398	13.668	10.077
	51.495	2.899	50.548	32.901	16.755	52.210	13.926	25.273	51.794	19.852
	0.203	69.668	2.538	0.213	0.000	0.014	0.366	4.348	2.108	1.300
	2.376	0.032	24.236	3.965	0.000	5.344	9.031	10.223	20.260	11.892
	0.078	17.519	2.580	0.540	0.615	0.358	0.832	2.232	18.846	6.811

مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي

المبحث الثاني: تحليل المسار

أولاً: العوائد النفطية وغير النفطية إبان فترات ارتفاع وانخفاض أسعار النفط

يعطينا الجدول رقم 9 مؤشرات حول العوائد النفطية وغير النفطية إبان فترات ارتفاع وانخفاض أسعار النفط، ولتحقيق هذا الهدف؛ تم تقسيم العينة إلى مجموعتين بناء على قيمة وسيط أسعار النفط: المجموعة الأولى السنوات التي شهدت ارتفاعاً في أسعار النفط، والمجموعة الثانية السنوات التي شهدت انخفاضاً في أسعار النفط، وفي كل مجموعة تم حساب المتوسط الحسابي للقطاعات الاقتصادية. ولاختبار الفروق بين المجموعتين تم استخدام اختبار العينتين المستقلتين، وجميعها يظهرها الجدول رقم (9).

تشير نتائج تحليل المسار الظاهرة في الجدول رقم (9) إلى أن الفترات التي شهدت ارتفاعاً في أسعار النفط قد شهدت كذلك ارتفاعاً في صناعة الخشب، الجلود، الحديد، المعادن، البلاستيك، الزجاج، والمواد الأولية. أما الفترات التي شهدت انخفاضاً في أسعار النفط فقد شهدت ارتفاعاً في الاعتماد على الفواكه والخضروات، الحيوانات، الأقمشة، المواد الكيميائية، النفط، السلع الاستهلاكية، والسلع شبه المصنعة.

إلا أن أغلب هذه الفروقات حول العوائد النفطية وغير النفطية إبان فترات ارتفاع وانخفاض أسعار النفط كانت غير مهمة إحصائياً. عدا البلاستيك، الزجاج، والسلع الاستهلاكية. فقد تبين من التحليل أن الفترات التي شهدت ارتفاعاً في أسعار النفط قد شهدت كذلك ارتفاعاً في صناعة البلاستيك والزجاج بدلالة إحصائية أقل من 5%. أما الفترات التي شهدت انخفاضاً في أسعار النفط فقد شهدت ارتفاعاً مهماً إحصائياً في صناعة الأقمشة بنسبة أقل من 1%.

الجدول (9) تحليل المسار للعوائد النفطية والغير نفطية إبان فترات ارتفاع وانخفاض أسعار النفط

الدالات الفروقية	أسعار النفط				القطاعات الاقتصادية
	اختبار t	اختبار F	اختبار F	المتوسط	
0.871	-0.163	0.917	0.011	2.950	موارد متجددة
0.667	0.431	0.060	3.598	0.459	الفواكه والخضروات (%)
0.526	-0.636	0.559	0.344	0.772	الخشب (%)
0.489	0.694	0.174	1.869	6.162	الحيوانات (%)
0.008	-2.690	0.000	24.169	10.001	الجلود (%)
0.637	-0.473	0.675	0.176	4.170	الأقمشة (%)
0.302	-1.036	0.641	0.218	58.222	موارد غير متجددة
0.856	0.182	0.678	0.173	2.550	مواد كيميائية (%)
0.583	0.550	0.303	1.068	2.550	النفط (%)
0.048	1.993	0.001	10.694	1.655	الحديد (%)
0.011	2.578	0.000	28.071	1.590	المعادن (%)
0.412	-0.822	0.011	6.555	3.451	البلاستيك (%)
0.112	1.599	0.005	7.970	2.361	الزجاج (%)
0.078	-1.778	0.824	0.050	38.276	مواد أولية أخرى (%)
0.330	0.978	0.055	3.743	6.567	موارد مصنعة
0.134	1.509	0.861	0.031	10.521	السلع الرأسمالية (%)
0.187	1.324	0.056	3.714	4.894	السلع الاستهلاكية (%)
					السلع الغذائية (%)
					السلع شبه مصنعة (%)
					الكهربونات (%)

مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية.

ثانياً: تأثير الصناديق السيادية على التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي

يعطينا الجدول رقم 10 مؤشرات حول تأثير الصناديق السيادية على التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي، ولتحقيق هذا الهدف؛ تم تقسيم العينة إلى مجموعتين؛ المجموعة الأولى الدول التي يوجد فيها صناديق سيادية تُموّل من النفط، والمجموعة الثانية الدول التي لا توجد فيها صناديق سيادية، وفي كل مجموعة تم حساب المتوسط الحسابي للتنوع والنمو الاقتصادي. واختبار الفروق بين المجموعتين تم استخدام اختبار العينتين المستقلتين، وجميعها يظهرها الجدول رقم (10).

تشير نتائج تحليل المسار الظاهرة في الجدول رقم (10) إلى أن الدول التي توجد فيها صناديق سيادية تمول من النفط هي الأقل تنوعاً والأكثر نمواً في الاقتصاد. أما الدول التي لا تمتلك صناديق ثروته سيادية هي الأكثر تنوعاً وأقل نمواً في الاقتصاد. وجاء تأثير الصناديق السيادية على التنوع الاقتصادي مهم إحصائياً؛ حيث كانت الدلالات الفروقية أقل من 5% (0.000).

الجدول (10) تحليل المسار لتأثير الصناديق السيادية على التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي

تأثير الصناديق السيادية على التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي						المتغيرات
الدلالات الفروقية		اختبار ليفين		الصناديق السيادية		
الدلالة الإحصائية	اختبار t	الدلالة الإحصائية	اختبار F	لا يوجد	يوجد	النمو في إجمالي الناتج المحلي (%) التنوع الاقتصادي(1-0)
0.564	0.577	0.010	6.702	4.036	5.024	
0.000	11.541	0.562	0.338	0.630	0.768	

مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائيات الأمم المتحدة، معهد صناديق الثروة السيادية SWFI

ثالثاً: تأثير الحوكمة المؤسسية العامة على التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي

يعطينا الجدول رقم 11 مؤشرات حول مستوى الحوكمة المؤسسية العامة في دول الوطن العربي، والتي تم قياسها من خلال ستة مؤشرات مختلفة، وهما (مكافحة الفساد، وفاعلية الأداء الحكومي، وسيادة القانون، الجودة التنظيمية، الاستقرار السياسي، والعدالة والمساواة)، والتي تشير إلى التشريعات والقوانين التي تنظم الحياة الاقتصادية، وتضمن التنوع الاقتصادي في المنطقة.

عمدت الدراسة في هذا الجزء إلى إعطاء تصور مبدئي حول دور الحوكمة المؤسسية العامة في علاقتها بمتغيرات الدراسة الأساسية. ولتحقيق هذا الهدف؛ تم تقسيم العينة إلى مجموعتين بناء

على قيمة وسيط مؤشرات الحوكمة: المجموعة الأولى السنوات التي شهدت ارتفاعاً في مستويات الحوكمة، والمجموعة الثانية السنوات التي شهدت انخفاضاً في مؤشرات الحوكمة، وفي كل مجموعة تم حساب المتوسط الحسابي لمؤشرات التنويع الاقتصادي، النمو الاقتصادي، وأسعار النفط. ولاختبار الفروق بين المجموعتين تم استخدام اختبار العينتين المستقلتين، وجميعها يظهرها الجدول رقم (11).

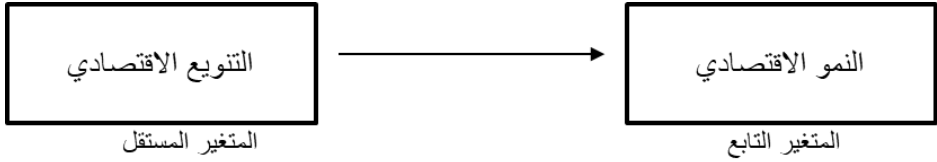
تشير نتائج تحليل المسار الظاهرة في الجدول رقم (11) إلى أن الفترات التي شهدت تحسناً في مؤشرات الحوكمة المؤسسية العامة قد شهدت كذلك ارتفاعاً في الناتج المحلي. ويمكن القول: إنه كلما شهدت الدولة تحسناً في الظروف السياسية كلما نما إجمالي الناتج المحلي.

وَلَوْحِظَ أَيضاً أن سيادة القانون، فاعلية الأداء الحكومي، الاستقرار السياسي، والعدل والمساواة أفضل في السنوات التي شهدت انخفاضاً في أسعار النفط. أما مؤشر مكافحة الفساد وجودة التنظيم فقد وُجِدَ أكفأ في السنوات التي شهدت ارتفاعاً في أسعار النفط. إلا أن هذه الاختلافات طفيفة جداً، حيث وُجِدَتْ الفروق بين المجموعات باستخدام الاختبار المعلمي أكثر من 5%. بينما وُجِدَ أن الاستقرار السياسي مهم إحصائياً؛ حيث كانت الفروق بين المجموعات باستخدام الاختبار المعلمي أقل من 5% (0.000).

أما بخصوص التنويع الاقتصادي وعلاقته بالحوكمة المؤسسية العامة؛ فقد تبين من التحليل أن الفترات التي شهدت حوكمة مؤسسية أفضل شهدت انخفاضاً في مستويات التنويع الاقتصادي في هذه الدول. وقد كانت جميع مؤشرات الحوكمة عدا الجودة التنظيمية مهمين إحصائياً عند 5% .

عموماً، تشير النتائج التي حصلت عليها الدراسة إلى أن التمكين المؤسسي وتفعيل دور المؤسسات العامة، من خلال بناء نظام قانوني يسمح للأفراد بالمشاركة في الاقتصاد، ويمنع الفساد، ويحفظ حقوق الأفراد المدنية سوف يحسّن من التنويع الاقتصادي في هذه الدول، ويسهم في التنمية الاقتصادية والوقوف جنباً إلى جنب مع الحكومات في تحقيق الأهداف الاقتصادية لها.

الشكل (2) النموذج التطبيقي الأول للدراسة



الشكل / من تصميم الباحث

ثانياً: النموذج التطبيقي الثاني

ومن أجل اختبار الهدف الثاني للدراسة حول ما إذا كان لأسعار النفط تأثير في العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي، تم إضافة متغير متوسط، وهو أسعار النفط، لنحصل على نموذج الدراسة رقم (6) التالي:

$$GG_{ig} = \beta_0 + \beta_1(DVI * OP)_{ig} + \beta_2GDP_{ig} + \beta_3INF_{ig} + \beta_4UNE_{ig} + \beta_5BOP_{ig} + \beta_6GE_{ig} + \beta_7MF_{ig} + \beta_8TOP_{ig} + \beta_9TOC_{ig} + \beta_{10}TOR_{ig} + \beta_{11}GOV_{ig} + \beta_{12}SDG_{ig} + \varepsilon_{ig} \dots (6)$$

يعبر الرمز (DVI*OP) عن المتغيرين المتوسط والمستقل، وهم أسعار النفط والتنوع الاقتصادي وهو Oil Price و Diversification Index.

أما الرموز الصغيرة في المعادلات الست السابقة فترمز للتالي: ε تعبر عن الخطأ العشوائي، t عن السنوات، و g عن الدول.

ومن هنا سوف يتم اختبار الهدف الأولي، والأخذ بعين الاعتبار الهدف الثاني من خلال الإجابة عن السؤال: هل التنوع الاقتصادي يؤثر على النمو الاقتصادي لدول أعضاء منظمة الأوبك في ظل تأثير أسعار النفط؟

وللإجابة عن هذا السؤال يقرأ نموذج الدراسة التطبيقي الثاني من خلال الشكل (3) كالتالي:

الفصل الخامس

الدراسة التطبيقية واختبار فرضيات الدراسة

تمهيد:

قدمت الدراسة الوصفية مؤشرات أولية حول متغيرات الدراسة، بيد أن هذه تبقى مؤشرات وصفية، ولا بد من استخدام الاختبارات القياسية اللازمة لاختبار الفرضيات للتأكد من إمكانية تعميمها.

يسعى الفصل الخامس من هذه الدراسة إلى اختبار فرضيات الدراسة، وتحليل النتائج بناءً على هذه الاختبارات. ولكن قبل استخدام بيانات الدراسة في النماذج القياسية لها وصولاً لاختبار الفرضيات؛ لا بد أولاً من التأكد من صحة هذه البيانات والنماذج القياسية؛ وذلك للتأكد من صحة النتائج التي سيتم التوصل لها من خلال تلك النماذج.

ولتحقيق هذا الهدف؛ فإن العديد من أساليب الاقتصاد القياسي سوف تستخدم في هذا الجزء من الدراسة، هذه الأساليب هي: اختبار استقرار السلاسل الزمنية (Time series stationarity)، واختبار التوزيع الطبيعي لبيانات الدراسة (Normal distribution)، وفحص صحة نماذج الدراسة بالتحقق من التداخل الخطي (Multicollinearity)، والارتباط الذاتي (Autocorrelation)، التحقق من ثبات تباين الخطأ العشوائي (Homoskedasticity)، واختبار اتجاه العلاقة بين المتغير المستقل والتابع (Pairwise Granger Causality Tests)، وأخيراً اختبار نوع الانحدار المتعدد المناسب لطبيعة البيانات المتقطعة (Hausman Test).

المبحث الأول: صحة البيانات

أولاً: اختبار استقرار السلاسل الزمنية

إنّ الأبحاث التطبيقية التي تستخدم السلاسل الزمنية تفترض استقرار تلك السلاسل (Stationarity)، التي تشترط أن يكون متوسطها وتباينها ثابتين، كما أنّ قيمة التباين (Covariance) بين فترتين زمنيةتين تعتمد فقط على الفجوة الزمنية (Lag)، وليس على الزمن الحقيقي الذي يتم فيه قياس التباين (جوجارات، 2015). وفي بعض الأحيان، ينشأ الارتباط الذاتي (Autocorrelation) لأنّ السلسلة الزمنية التي تُبنى عليها الدراسة غير مستقرة (Non-

(Stationary)، وإذا لم تتم معالجة هذه المشكلة؛ فإنه لا يمكن تعميم نتائج الدراسة التي يتم التوصل إليها. وفي العادة، يتم اكتشاف مشكلة الارتباط الذاتي للسلاسل الزمنية باستخدام طرق عدّة، منها: اختبارات جذر الوحدة (Unit Root) المتضمنة لاختبار "ديكي فوللر الموسع" (Augmented Dicky-Fuller test ADF) المعلمي، وفيه أن الفرض العدمي ينصّ على أن السلسلة الزمنية تحتوي على جذر الوحدة؛ بمعنى أنها غير مستقرة.

من الجدول رقم (12) نلاحظ أن نتائج اختبار (ADF) للمتغير المستقل والمتوسط جاءت أعلى من المستوى 1% قد جاءت لرفض الفرضية البديلة بأن السلاسل الزمنية للمتغير المستقل والمتوسط جميعها مستقرة، وعليه يمكننا الاطمئنان إلى صحة السلسلة الزمنية المستخدمة في الدراسة وفي تفاصيل الاختبارات الإحصائية.

ثانياً: اختبار التداخل الخطّي

إنّ قوّة النموذج الخطّي العام (General Linear Model GLM) تعتمد أساساً على فرضيّة استقلال كل متغيّر من المتغيّرات المستقلّة (Independency)، وإذا لم يتحقّق هذا الشرط؛ فإنّ النموذج الخطّي العام عندئذ لا يصلح للتطبيق، ولا يمكن اعتباره جيّداً لعمليّة تقدير المعلمات (السيفو، 2003)؛ ولتحقيق ذلك يتم استخدام مقياس (Collinearity Diagnostics)، باحتساب معامل (Tolerance) لكل المتغير المستقل والمتوسط، ومن ثمّ يتم إيجاد معامل (Variance Inflation Factor VIF)؛ إذ يُعدّ هذا المعامل مقياساً لتأثير الارتباط بين المتغير المستقل والمتغير المتوسط. إنّ الحصول على قيمة (VIF) مساوية للواحد الصحيح يعني لا يوجد ارتباط، ووقوع القيمة ما بين أكبر من الواحد الصحيح وأقل من الخمسة يعني وجود ارتباط معتدل، أما إذا كانت القيمة أعلى من (10) فإن ذلك يشير إلى وجود مشكلة التعدّد الخطّي للمتغير المستقل المعني. وقد ظهرت نتائج اختبار التداخل الخطّي للمتغير المستقل والمتوسط كما هي موضّحة في الجدول رقم (12) أن قيمة اختبار (VIF) أقل من 0.5. وكذلك نتائج Tolerance جاءت أكثر من 0.2، فإذا كانت النتائج أقل من 0.1 فذلك يعني أن هناك تداخل خطّي بين المتغير المتوسط والمستقل. ومن ثمّ؛ فإنه لا يوجد تداخل خطّي بين متغير الدراسة المستقل والمتوسط، وعليه؛ فإن نماذج الدراسة صحيحة ويمكن الوثوق بنتائجها.

الجدول (12) اختبارات صحة البيانات

استقرار السلاسل الزمنية		التداخل الخطي		الرمز	المتغيرات
Stationarity		Collinearity			
اختبار ADF	احتمال اختبار ADF	اختبار VIF Tolerance	اختبار VIF		
17.506	0.735	0.228	4.387	DVI	المتغير المستقل التنوع الاقتصادي
17.699	0.724	0.247	4.043	OP	المتغير المتوسط أسعار النفط

مصادر البيانات: إحصائية الطاقة العالمية، إحصائيات الأمم المتحدة

المبحث الثاني: التوزيع الطبيعي للبيانات

يتم استخدام هذا الاختبار للتأكد من أن البيانات موزعة بشكل طبيعي؛ إذ يترتب على التعرف على توزيع البيانات اختيار الأسلوب الإحصائي الملائم لاختبار الفرضيات. ومن أجل تحقيق ذلك، تم استخدام اختبار (Jarque-Bera) المعملي، وتكون قاعدة القرار قبول الفرضية العدمية بأن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي إذا كانت احتمالية اختبار (J-B) أكبر من (0.05).

وقد أظهرت نتائج اختبار التوزيع الطبيعي في الجدول رقم (13) أن معظم متغيرات الدراسة تقترب من التوزيع الطبيعي استناداً للاختبار الاحصائي (Jarque-Bera) الذي قُبلت فرضيته العدمية بأن البيانات تقترب من التوزيع الطبيعي. والبعض منها لا يقترب من التوزيع الطبيعي والذي قد لا يؤثر على مصداقية الدراسة؛ لأن العينة كانت كبيرة وكان من المفترض أن بعض البيانات لم يتم توزيعها بشكل طبيعي. وبناء على نتائج كل من الالتواء والتفرطح فإنه كما هو موضح في الجدول (13)، كانت أغلب قيم الالتواء والتفرطح تتراوح ما بين 2- و 2+، والتي تعتبر دليلاً مقبولاً على التوزيع الطبيعي (George, 2011).

الجدول (13) اختبارات التوزيع الطبيعي للبيانات

مؤشرات التوزيع الطبيعي		اختبار التوزيع الطبيعي	الرمز	المتغيرات
اختبار التفرطح	اختبار الإلتواء	احتمال اختبار Jarque-Bera		
5.458	1.097	0.000	GG	المتغير التابع النمو في اجمالي الناتج المحلي
2.853	-0.935	0.003	DVI	المتغير المستقل التنوع الاقتصادي
1.792	0.043	0.084	OP	المتغير المتوسط أسعار النفط
3.599	-0.685	0.023	INF	المتغيرات الضابطة أ. المتغيرات الضابطة لاقتصاد الدول: التضخم
5.218	1.733	0.000	GDP	اجمالي الناتج المحلي
1.958	-0.013	0.160	UNE	البطالة
5.966	1.639	0.000	BOP	ميزان المدفوعات
19.486	3.814	0.000	GE	الموازنة العامة
2.354	-0.148	0.427	MF	المؤشرات النقدية
2.625	1.136	0.000	TOP	ب. المتغيرات الضابطة لخصائص النفط: اجمالي انتاج النفط
4.340	1.617	0.000	TOC	اجمالي استهلاك النفط
1.893	0.623	0.009	TOR	اجمالي احتياطات النفط
2.277	0.033	0.411	GOV	ج. المتغيرات الضابطة للخصائص السياسية: مؤشر الحوكمة المؤسسية العامة
2.878	-0.371	0.386	SDG	د. المتغيرات الضابطة لسياسية التنمية المستدامة: مؤشر اهداف التنمية المستدامة للاقتصاد

مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية، وشبكة حلول التنمية المستدامة، احصائيات الأمم المتحدة

المبحث الثالث: صحة نموذجي الدراسة

أولاً: اختبار الارتباط الذاتي

تظهر مشكلة الارتباط الذاتي في النموذج إذا كانت المشاهدات المتجاورة مترابطة؛ مما سيؤثر في صحة النموذج؛ وسيكون أثر المتغيرات المستقلة في المتغير التابع بدرجة كبيرة من جراء ذلك الارتباط. وللتحقق من وجود هذه المشكلة في النماذج، يتم استخدام اختبارات معينة مثل اختبار "دارين واتسون" (Durbin Watson Test)؛ إذ يُعد هذا الاختبار من أكثر الطرق استخدامًا بين

الاقتصاديين القياسيين، وتتراوح قيمة هذا الاختبار بين (0، 4)، كما أنّ النتيجة القريبة من الصفر تشير إلى وجود ارتباط موجب قوي بين البواقي المتعاقبة، أمّا النتيجة القريبة من (4)؛ فتشير إلى وجود ارتباط سالب قوي، أمّا النتيجة المثلث؛ فهي التي تتراوح بين (1.5 – 2.5)؛ إذ تشير إلى عدم وجود ارتباط ذاتي بين القيم المتجاورة للمتغيرات. ويشعر الاقتصاديون القياسيون بالاطمئنان إلى نتائجهم عندما تكون قيمة (D-W) المحسوبة قريبة من (2) ويعدّون أنّ مشكلة الارتباط الذاتي ليست حادّة؛ إذ لا دليل على وجود ارتباط ذاتي وموجب (جوجارات، 2015).

وعليه؛ فإننا نلاحظ أنّ قيم اختبار "دارين واتسون" (D-W) المحسوبة والظاهرة في الجدول (14) لنماذج الدراسة جميعها هي تقع ضمن المدى الأمثل للاختبار. وعليه؛ فإن نماذج الدراسة لا تعاني من مشكلة الارتباط الذاتي.

ثانياً: اختبار عدم ثبات تباين الخطأ العشوائي:

إحدى الافتراضات المهمّة لنماذج الانحدار "الكلاسيكي"، وتطبيق طريقة المربعات الصغرى العادية (Ordinary Least Squares OLS) هو أنّ تباين الأخطاء العشوائية ثابت، بالإضافة إلى أنّ متوسطها يجب أن يكون مساوياً للصفر (عوض، 2000)، فقد استخدمنا اختبارين للتأكد من ثبات تباين الخطأ العشوائي. كما هو مبين في الجدول 14، نجد أنّ احتمال الاختبارين (Breusch-Pagan and koenker) هي أكثر من (0.05) مما يدل على قبول فرضية فارغة؛ مما يقود إلى رفض فرضية اختلاف التباين، ومن ثمّ يمكن الاطمئنان إلى أنّ تباين الأخطاء العشوائية ثابت في نماذج الدراسة.

الجدول (14) اختبارات صحة نموذجي الدراسة

الارتباط الذاتي	ثبات تباين الخطأ العشوائي		النموذج
Autocorrelation	Heteroscedasticity		
اختبار	احتمال اختبار	احتمال اختبار	
DurbinWatson	Breusch-Pagan	Koenker	
1.814	0.207	0.218	النموذج 1: قبل المتغير المتوسط
1.806	0.118	0.011	النموذج 2: بعد المتغير المتوسط

المبحث الرابع: اختبار اتجاه العلاقة بين المتغير المستقل والتابع

في هذا المبحث، يتم تقييم المعاملات غير المتجانسة أو غير المتكافئة للمتغير المستقل للعثور على اتجاه العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو.

تنص الفرضية العدمية في اختبار السببية (Pairwise Granger Causality Tests) على عدم وجود علاقة سببية بين المتغير المستقل والثابت إذا كانت الدلالة الإحصائية لاختبار F أكثر من 5%. كما هو مبين في الجدول (15)، فإن الدلالة الإحصائية أقل من 5% (0.007)، أي أن التنوع الاقتصادي سبب في النمو في إجمالي الناتج المحلي وليس العكس.

الجدول (15) اختبار اتجاه العلاقة بين المتغير المستقل والتابع

Pairwise Granger Causality Tests		
الدلالة الإحصائية	اختبار F	الفرضية العدمية
0.007	5.141	التنوع الاقتصادي ليس سبباً في النمو في إجمالي الناتج المحلي

مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، احصائيات الأمم المتحدة

المبحث الخامس: اختبار نوع الانحدار المتعدد الملائم لطبيعة البيانات

قبل الذهاب إلى اختبار فرضيات الدراسة باستخدام الانحدار المتعدد، ولأن سلسلة البيانات في هذه الدراسة متقطعة (تختلف من دولة إلى أخرى)، وفي سبيل معرفة نوع الانحدار المتعدد المناسب للبيانات المتقطعة فقد تم استخدام Hausman Test للتعرف على ما إذا كان الانحدار المتعدد ثابت الأثر هو المناسب لطبيعة البيانات المستخدمة في هذه الدراسة أم الانحدار المتعدد عشوائي الأثر. وتنص الفرضية العدمية في اختبار Hausman Test على عدم ملائمة الانحدار ثابت الأثر إذا كانت الدلالة الإحصائية لاختبار Chi-Sq أقل من 5%. ومن الجدول 16 يتضح أن الانحدار المتعدد ثابت الأثر هو المناسب لطبيعة البيانات المستخدمة في هذه الدراسة حيث جاءت نتيجة احتمال الاختبار أكثر من 5% (0.072) لتقبل الفرضية البديلة وهي ملائمة الانحدار المتعدد ثابت الأثر للبيانات المتقطعة المستخدمة في هذه الدراسة.

الجدول (16) اختبار نوع الإنحدار المتعدد الملائم لطبيعة البيانات

Hausman Test	
Chi-Sq. Statistic	احتمال الاختبار
19.772	0.072

المبحث السادس: اختبار فرضيات الدراسة الرئيسية

يظهر لنا الجدول رقم (17) نتائج تحليل انحدار التنوع الاقتصادي وعلاقته بالنمو الاقتصادي، وفي هذا النموذج لم يتم أخذ متغير أسعار النفط بعين الاعتبار، وذلك في سبيل التعرف على العلاقة الأساسية بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي، وقد ظهرت النتائج أن معامل التحديد لنماذج الدراسة في الجدول 17 هو 0.143 ولكن بعد إدخال متغير أسعار النفط في العلاقة كما يظهر في الجدول رقم (18) فقد ارتفع معامل التحديد لنماذج الدراسة فأصبح: 0.150؛ مما يعني أن للمتغير المتوسط (أسعار النفط) تأثيراً في العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في دول أعضاء منظمة أوبك.

أولاً: اختبار فرضيات الدراسة الرئيسية حول تأثير التنوع الاقتصادي في النمو (النموذج 1)

يعمد هذا الجزء من الدراسة إلى اختبار أثر التنوع الاقتصادي في النمو الاقتصادي؛ وذلك من خلال توظيف نموذج الانحدار البسيط عبر طريقة المربعات الصغرى العادية باستخدام الأثر الثابت في التحليل الإحصائي. يظهر الجدول رقم (17) نتائج اختبار فرضيات الدراسة.

يُظهر لنا الجدول رقم (17) أنه ليس هناك تأثير للتنوع الاقتصادي في النمو الاقتصادي إذا لم يتم الأخذ بالاعتبار تأثير أسعار النفط في هذه الدول؛ حيث جاءت نتائج اختبار t أكثر من 5%. وبناءً على هذه النتائج، فقد تم رفض الفرضية البديلة الأولى (توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الدول الأعضاء لمنظمة الأوبك).

وبشكل أكثر تفصيلاً، أ لم يُلاحظ وجود علاقة مهمة إحصائياً بين المتغيرات الضابطة والنمو الاقتصادي.

الجدول (17) تحليل الانحدار لتأثير التنويع الاقتصادي على النمو الاقتصادي للفرضية الرئيسية (النموذج 1)

نموذج النمو في إجمالي الناتج المحلي			الرمز	المتغيرات
β	اختبار t	احتمال اختبار t		
0.038	0.164	0.870	DVI	المتغير المستقل التنويع الاقتصادي
				المتغيرات الضابطة
				أ. المتغيرات الضابطة لاقتصاد الدول:
0.118	0.730	0.468	INF	التضخم
-0.543	-1.150	0.254	GDP	إجمالي الناتج المحلي
-0.512	-0.949	0.346	UNE	البطالة
0.084	0.389	0.699	BOP	ميزان المدفوعات
-0.163	-0.782	0.437	GE	الموازنة العامة
-0.271	-0.882	0.381	MF	المؤشرات النقدية
				ب. المتغيرات الضابطة لخصائص النفط:
0.329	0.319	0.751	TOP	إجمالي انتاج النفط
0.927	1.157	0.251	TOC	إجمالي استهلاك النفط
-1.054	-1.140	0.258	TOR	إجمالي احتياطات النفط
				ج. المتغيرات الضابطة للخصائص السياسية:
-0.362	-0.769	0.444	GOV	مؤشر الحوكمة المؤسسية العامة
				د. المتغيرات الضابطة لسياسية التنمية المستدامة:
				مؤشر اهداف التنمية المستدامة للاقتصاد
-0.334	-1.324	0.190	SDG	
		0.143		معامل التحديد
		0.948		اختبار فيشر
		0.506		احتمال اختبار فيشر

مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية، وشبكة حلول التنمية المستدامة، إحصائيات الأمم المتحدة

ثانيًا: اختبار فرضيات الدراسة الرئيسية حول تأثير أسعار النفط على العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي والنمو (النموذج 2)

أما في هذا الجزء من الدراسة؛ فقد هدفنا إلى اختبار أثر أسعار النفط على العلاقة ما بين سياسة التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي، وذلك من خلال توظيف نموذج الانحدار البسيط عبر طريقة المربعات الصغرى العادية في التحليل الإحصائي. يظهر الجدول رقم 18 نتائج اختبار فرضيات الدراسة.

يظهر لنا الجدول رقم (18) أنه ليس هناك تأثيرًا لأسعار النفط على العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي إذا ماتم اخذ جميع الدول، وهذا يدفعنا إلى فصل نتائج كل دولة على حدى للحصول على معلومات أكثر دقة عن هذه العلاقة.

وبناءً على هذه النتائج فقد تم رفض الفرضية البديلة الثانية (يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الدول الأعضاء لمنظمة الأوبك).

وبشكل أكثر تفصيلاً، أ لم يُلاحظ وجود علاقة مهمة إحصائيًا بين المتغيرات الضابطة والنمو الاقتصادي إذا أخذ بعين الاعتبار أسعار النفط.

الجدول (18) تحليل الانحدار لتأثير أسعار النفط على العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو للفرضية الرئيسية (النموذج 2)

نموذج النمو في إجمالي الناتج المحلي			الرمز	المتغيرات
β	اختبار t	احتمال اختبار t		
-0.18	-0.78	0.44	DVI* OP	المتغير المستقل التنوع الاقتصادي * أسعار النفط
				المتغيرات الضابطة أ. المتغيرات الضابطة لاقتصاد الدول:
0.11	0.71	0.48	INF	التضخم
-0.25	-0.42	0.68	GDP	إجمالي الناتج المحلي
-0.58	-1.08	0.28	UNE	البطالة
0.13	0.58	0.56	BOP	ميزان المدفوعات
-0.17	-0.88	0.38	GE	الموازنة العامة
-0.35	-1.19	0.24	MF	المؤشرات النقدية
				ب. المتغيرات الضابطة لخصائص النفط:
0.17	0.17	0.87	TOP	إجمالي إنتاج النفط
0.64	0.79	0.43	TOC	إجمالي استهلاك النفط
-0.89	-0.96	0.34	TOR	إجمالي احتياطات النفط
				ج. المتغيرات الضابطة للخصائص السياسية:
-0.42	-0.90	0.37	GOV	مؤشر الحوكمة المؤسسية العامة
				د. المتغيرات الضابطة لسياسية التنمية المستدامة:
-0.31	-1.25	0.22	SDG	مؤشر أهداف التنمية المستدامة للاقتصاد
		0.150		معامل التحديد
		1.000		اختبار فيشر
		0.460		احتمال اختبار فيشر

مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي، إحصائية الطاقة العالمية، وشبكة حلول التنمية المستدامة، إحصائيات الأمم المتحدة

المبحث السابع: اختبار فرضيات الدراسة الفرعية

أما في هذا المبحث من الدراسة؛ فقد هدفنا إلى اختبار فرضيات الدراسة الفرعية في النموذجين (أثر سياسية التنويع الاقتصادي على النمو الاقتصادي، وأثر أسعار النفط على العلاقة ما بين سياسة التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي) في الدول الأعضاء لمنظمة الأقطار العربية، وذلك من خلال توظيف نموذج الانحدار البسيط عبر طريقة المربعات الصغرى العادية في التحليل الإحصائي.

أولاً: اختبار فرضيات الدراسة الفرعية حول تأثير التنويع الاقتصادي في النمو (النموذج 1)

يظهر لنا الجدول رقم (19) أن هناك تأثير إيجابي مهم احصائياً للتنويع الاقتصادي على النمو في تونس. حيث جاءت نتائج اختبارات الفرضيات أقل من 5% (0.009).

وبناءً على هذه النتائج فقد تم قبول الفرضية البديلة (1.10): توجد علاقة بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في تونس (جدول 21).

الجدول (19) تحليل الانحدار لتأثير التنويع الاقتصادي على النمو الاقتصادي للفرضيات الفرعية (النموذج 1)

تأثير التنويع الاقتصادي في النمو في إجمالي الناتج المحلي		الدول
اختبار t	احتمال اختبار t	
0.833	0.414	البحرين
0.484	0.635	ليبيا
-1.167	0.260	قطر
-0.509	0.616	الكويت
1.081	0.292	الإمارات
1.386	0.180	مصر
-1.282	0.214	السعودية
-1.288	0.227	سوريا
1.670	0.110	الجزائر
2.882	0.009	تونس
-0.762	0.455	العراق

ثانيًا: اختبار فرضيات الدراسة الفرعية حول تأثير أسعار النفط على العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي والنمو (النموذج 2)

ومن جانب آخر، يظهر لنا الجدول رقم (20) أن هناك تأثيرًا سلبيًا لأسعار النفط على العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في تونس؛ حيث جاءت نتائج اختبارات الفرضيات أقل من 5% (0.004). أما في بقية الدول فكانت نتائج اختبارات الفرضيات أكثر من 5%. مما يعني أنه ليس هناك أي تأثير لأسعار النفط على العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في هذه الدول.

وبناءً على هذه النتائج فقد تم قبول الفرضية البديلة (2.10): يوجد تأثير لأسعار النفط على العلاقة بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في تونس (جدول 21).

الجدول (20) تحليل الانحدار لتأثير التنويع الاقتصادي على النمو الاقتصادي للفرضيات الفرعية (النموذج 2)

تأثير التنويع الاقتصادي وأسعار النفط في النمو في إجمالي الناتج المحلي		الدول
اختبار t	احتمال اختبار t	
0.129	0.898	البحرين
0.251	0.805	ليبيا
0.589	0.564	قطر
-0.033	0.974	الكويت
-0.207	0.838	الإمارات
-0.769	0.450	مصر
1.677	0.108	السعودية
1.297	0.224	سوريا
-1.491	0.151	الجزائر
-2.957	0.004	تونس
-0.548	0.590	العراق

مصادر البيانات: قاعدة بيانات البنك الدولي ، احصائيات الأمم المتحدة

الجدول (21) خلاصة نتائج اختبارات الفرضيات

الدول	الفرضيات	تأثير التنوع الاقتصادي في النمو في إجمالي الناتج المحلي	تأثير التنوع الاقتصادي وأسعار النفط في النمو في إجمالي الناتج المحلي
	الرئيسية	رفض	رفض
البحرين	مقبول	رفض	رفض
ليبيا		رفض	رفض
قطر		رفض	رفض
الكويت		رفض	رفض
الإمارات		رفض	رفض
مصر		رفض	رفض
السعودية		رفض	رفض
سوريا		رفض	رفض
الجزائر		رفض	رفض
تونس		قبول	قبول

وعموماً، من النتائج اتضح ان أسعار النفط لاتؤثر في العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو في الدول التي تمتلك صناديق ثروة سيادية، أما الدول التي لاتمتلك صناديق ثروة سيادية (تونس) فأسعار النفط لها تأثير مهم جداً على العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو. ولكن هذه العلاقة تتأثر سلباً بأسعار النفط.

الفصل السادس

استخلاص النتائج والتوصيات

تمهيد:

بعد الانتهاء من إجراء الدراسة الوصفية والأخرى التطبيقية، واختبار فرضيات الدراسة؛ فإن الفصل السادس يهدف إلى استخلاص ومناقشة النتائج في مبحثه الأول، وأخيرًا استعراض التوصيات ومحددات الدراسة والدراسات المستقبلية في مبحثه الثاني.

المبحث الأول: استخلاص ومناقشة النتائج

لم يعد التطور في كافة المجالات الاقتصادية، وغيرها معتمدًا على الموارد الطبيعية فحسب؛ بل أصبح التنويع الاقتصادي فيها ركنًا أساسيًا معززًا للنهضة الاقتصادية التي بدورها تحقق أهداف التنمية المستدامة. إذ يمثل التنويع الاقتصادي العمود الفقري لاستقرار الاقتصاد، فكلما كان هناك تنويع اقتصادي، أتاح ذلك فرصًا جيدة لتكوين وبناء اقتصاد قوي يقف في مواجهة التدهور والأزمات الاقتصادية.

هدفت هذه الدراسة إلى البحث في التنويع الاقتصادي في الدول الأعضاء لمنظمة الأوبك، ودوره في نمو واحد من أهم القطاعات التنموية والحيوية؛ ألا وهو قطاع الاقتصاد، وذلك في ظل تركيز اقتصادات هذه الدول على النفط. وقد قدم الباحث من خلالها نموذجًا للعلاقة بين التنويع الاقتصادي والنمو من جانب وتأثير أسعار النفط على هذه العلاقة من جانب آخر؛ وذلك من خلال دراسة نظرية هدفت إلى التأسيس النظري لفرضيات الدراسة، وأخرى تطبيقية هدفت إلى إثبات الرؤى النظرية التي جاءت بها، وذلك عبر فترة زمنية تمتد من 1996-2018. وقد توصلت الدراسة للاستنتاجات والنتائج الآتية:

1. اتضح من نتائج الدراسة أن هناك نسبة منخفضة من التنويع الاقتصادي في دول أوبك، بينما يقابلها نسبة جيدة في النمو الاقتصادي الذي حقق نسبة تقارب 5% فقط خلال فترة الدراسة، وهي مؤشرات تعطينا دلالات واضحة حول وجود عوامل تؤثر في العلاقة ما بين التنويع الاقتصادي والنمو الاقتصادي.

1. بيّنت النتائج أن في السنوات الأخيرة من الدراسة كان التنويع الاقتصادي في دول أوبك أفضل؛ حيث كانت نسبة التنويع (0.75) في سنة 1996 بينما ارتفعت إلى (0.71) في سنة 2015، وذلك يدل على اهتمام هذه الدول بسياسة التنويع الاقتصادي والعمل على تعزيزها علماً بأن إقتراب المؤشر من الصفر يعني أكثر تنوعاً.
2. بينت الدراسة الوصفية وجود علاقة طردية بين أسعار النفط والنمو في إجمالي الناتج المحلي في هذه الدول، ما يدل على أن النمو الاقتصادي في هذه الدول مقترن بأسعار النفط، مما يعطينا دلالة واضحة أن هذه الدول تعتمد وبشكل كلي في اقتصاداتها على إيرادات النفط.
3. وجدت الدراسة أن دول الأوبك متقاربة نوعاً ما في النمو الاقتصادي عدا قطر، حيث ارتفع إجمالي الناتج المحلي القطري كثيرًا عن باقي الدول.
4. بينت الدراسة تراجعًا واضحًا في النمو الاقتصادي وأسعار النفط في دول الوطن العربي الوطن العربي بعد سنة 2010، وذلك عقب الاحداث التي شهدها عام 2011. إن هذا التراجع في التنويع الاقتصادي قد أثر سلبياً على النمو الاقتصادي في المنطقة.
5. وجدت نتائج تحليل المسار للعوائد النفطية وغير النفطية إبان فترات ارتفاع وانخفاض أسعار النفط أن الفترات التي شهدت ارتفاعاً في أسعار النفط قد شهدت كذلك ارتفاعاً في صناعة البلاستيك والزجاج. أما الفترات التي شهدت انخفاضاً في أسعار النفط فقد شهدت ارتفاعاً مهماً إحصائياً في صناعة الأقمشة.
6. تشير نتائج تحليل المسار إلى أن الدول التي توجد فيها صناعات سيادية تمول من النفط هي الأقل تنوعاً والأكثر نمواً في الاقتصاد. أما الدول التي لاتمتلك صناعات ثروة سيادية هي الأكثر تنوعاً والأقل نمواً في الاقتصاد. وجاء تأثير الصناعات السيادية على التنويع الاقتصادي مهم إحصائياً.
7. تبين من نتائج تحليل المسار حول تأثير الحوكمة المؤسسية العامة أن الفترات التي شهدت تحسناً في مؤشرات الحوكمة المؤسسية العامة؛ قد شهدت كذلك ارتفاعاً في الناتج المحلي.

وتبين أن مؤشر مكافحة الفساد وجودة التنظيم وُجِدَ أكفأ في السنوات التي شهدت ارتفاعاً في أسعار النفط.

8. عمدت الدراسة إلى اختبار فرضيتها الأساسية الأولى من وجود تأثير للتنوع الاقتصادي في تحقيق النمو، وقد تبين من خلال التحليل أنه ليس هناك تأثير للتنوع الاقتصادي في النمو الاقتصادي إذا لم يتم الأخذ بالاعتبار تأثير أسعار النفط في هذه الدول، وبناءً على هذه النتائج فقد تم رفض الفرضية الرئيسية الأولى (توجد علاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في الدول الأعضاء لمنظمة الأوبك).

9. ثم عمدت الدراسة إلى اختبار فرضيتها الأساسية الثانية من وجود تأثير لأسعار النفط على العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو، وقد تبين أن هناك ليس هناك تأثير لأسعار النفط على العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي، وبناءً على هذه النتائج العامة فقد تم تفصيل نتائج كل دولة على حدى.

10. وبشكل أكثر تفصيلاً، عمدت الدراسة إلى اختبار فرضياتها الثانوية المنبثقة من الفرضية الأساسية الأولى حول وجود تأثير للتنوع الاقتصادي في تحقيق النمو في كل دولة على حدة، وقد تبين من خلال التحليل أنه هناك تأثير للتنوع الاقتصادي في النمو الاقتصادي في تونس فقط.

11. وفي الأخير عمدت الدراسة إلى اختبار فرضياتها الثانوية المنبثقة من الفرضية الأساسية الثانية حول وجود تأثير لأسعار النفط على العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو في كل دولة على حدة، وقد تبين من خلال التحليل أنه يوجد تأثير سلبي لأسعار النفط على العلاقة بين التنوع الاقتصادي والنمو الاقتصادي في تونس.

12. من النتائج اتضح ان أسعار النفط لاتؤثر في العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو في الدول التي تمتلك صناديق ثروة سيادية، أما الدول التي لاتمتلك صناديق ثروة سيادية فأسعار النفط لها تأثير سلبياً على العلاقة ما بين التنوع الاقتصادي والنمو.

المبحث الثاني: التوصيات ومحددات الدراسة والدراسات المستقبلية

أولاً: توصيات الدراسة

1. توصي الدراسة الدول النفطية التي لاتمتلك صناديق ثروة سيادية أن تعمل على إنشاء صناديق ثروة سيادية تمول من النفط وذلك لتجنب تأثير أسعار النفط على علاقة التنويع الاقتصادي بالنمو.
2. توصي الدراسة باستمرار العمل على تشجيع مبادرات التنويع الاقتصادي في الوطن العربي؛ لما له من آثار واضحة على النمو الاقتصادي.
3. كذلك نوصي الدول العربية النفطية بوضع الأسس والقواعد الخاصة بالتنويع الاقتصادي، على ألا تكون هذه الضوابط مانعة ومُجَدَّة لدور القطاع الخاص في الاقتصاد.
4. توصي الدراسة بتبني استراتيجية وطنية لدعم التنويع الاقتصادي لقطاع الأعمال بهدف تشجيع طريقة التفكير الريادية؛ من خلال إطار عمل عام لدمج ريادة الأعمال في الاقتصاد. وذلك عبر خطوات ممنهجة لإدخال ثقافة الريادة كمساهم في اقتصاد الدول؛ لبناء ثقافة تحترم ريادة الأعمال والابتكار، وتشجعهما، وبناء ثقافة تقبل الخطر والفشل دون جعله عائقاً أمام التقدم، وهذا يساهم في تنمية المهارات الضرورية للريادة بما يضمن استمرار مسار التنويع الاقتصادي للأجيال القادمة.
5. توصي الدراسة بالعمل على استمرار تحسين البيئة التنظيمية والاقتصادية في دول الوطن العربي والهادفة إلى دعم التنمية المستدامة.
6. أظهرت النتائج أن دول الوطن العربي النفطية بحاجة لتطوير نظام ابتكار شامل لدفع التنويع الاقتصادي. لذا نوصي بتكاتف جهود الحكومات والقطاع الخاص من أجل الوصول لنموذج اقتصادي تنموي مستدام.
7. يتعين على الحكومات أن تركز على أبحاثها في تطوير القطاع الصناعي، وخصوصاً القطاعات غير النفطية كوسيلة لتطوير سياسة التنويع الاقتصادي.

ثانياً: محدّدات الدراسة والدراسات المستقبلية

على الرغم من اتخاذ الدراسة للتدابير الكافية للاطمئنان للنتائج القياسية التي خرجت بها الدراسة؛ وذلك عبر مجموعة من الاختبارات التي تقيس سلامة بيانات الدراسة؛ إلا أنه لا بد من الحذر عند

تعميم نتائج هذه الدراسة، فهي نتائج أولية ترتبط ببيئة الوطن العربي، ولذا فإن الدراسة تُوصي بعمل مزيد من الدراسات في الدول النامية؛ بهدف إثبات أو تصحيح نتائج الدراسة الحالية. وبما أن دول الوطن العربي تتشابه من حيث التركيبة الاجتماعية، إلى حدٍ كبير، وكذلك ظروفها التنظيمية، فضلاً عن تشابه كبير في المتغيرات الاقتصادية. لذلك؛ فإن إجراء دراسة تأخذ بعين الاعتبار الدول غير النفطية يُعدّ إضافة حقيقية لأدبيات الموضوع، كما يساهم في إثراء ومقارنة النتائج التي توصلت إليها الدراسة الحالية.

قائمة المراجع

أولاً: المراجع العربية

- أحمد الكواز، "تقييم التجربة التنموية لدول مجلس التعاون الخليجي"، سلسلة الخبراء، المعهد العربي للتخطيط بالكويت، العدد 40، (إبريل، 2011)، ص. 6.
- جوجارات.(2015). " الاقتصاد القياسي"، ترجمة: عودة، هند عبدالغفار والدش، عفاف علي حسن، الرياض: دار المريخ للنشر، الطبعة الأولى.
- رجا المرزوقي، التنوع الاقتصادي وآلية توزيع العائدات النفطية بين القطاعين الخاص والحكومي، جريدة العرب الإقتصادية الدولية، (18 ابريل، 2011).
- شريف شعبان مبروك، 2009. صناديق الثروة السيادية بين التحديات الغربية والآفاق الخليجية، العدد 146، مركز الإمارات للدراسات والبحوث الإستراتيجية.
- عاطف لافي مرزوك، 2003 ، "التنوع الاقتصادي في بلدان الخليج العربي مقارنة للقواعد والدلائل"، مجلة الاقتصادي الخليجي، العدد(24) ص.
- عوض، طالب، 2000، مقدمة في الاقتصاد القياسي، عمّان، منشورات الجامعة الأردنية، عمادة البحث العلمي.
- موسى باهي, & كمال رواينية. (2016). التنوع الاقتصادي كخيار استراتيجي لتحقيق التنمية المستدامة في البلدان النفطية: حالة البلدان العربية المصدرة للنفط. المجلة الجزائرية للتنمية الإقتصادية, 3(5), 133-152.
- وليد اسماعيل السيفو، الاقتصاد القياسي التحليلي بين النظرية والتطبيق، دار مجدلاوي للنشر والتوزيع، 2003.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Akpadock, F. "Diversification Trends of the Regional Economy of Mill-Town Communities in Northeast Ohio, 1980–1991." Journal of the Community Development Society, 27(2), 1996, 177–96.
- Attaran, M. "Industrial Diversity and Economic Performance in U.S. Areas." Annuals of Regional Science, 20, 1986, 44–54.

- Callen, M. T., Cherif, R., Hasanov, F., Hegazy, M. A., & Khandelwal, P. (2014). Economic diversification in the GCC: Past, present, and future. International Monetary Fund
- Chiang, S. "The Effects of Industrial Diversification on Regional Unemployment in Taiwan: Is the Portfolio Theory Applicable?" *Annals of Regional Science*, 43, 2009, 947–62.
- Collier, P., and Anke H. "Resource Rents, Governance, and Conflict." *Journal of Conflict Resolution*, (2005), Vol. 49, No. 4, pp. 625–633.
- Conroy, M. E. "Alternative Strategies for Regional Industrial Diversification." *Journal of Regional Science*, 14(1), 1974, 31–46.
- Developing industrial diagnosis and strategy-setting tools for structural and industrial policy design in developing countries, on website https://www.die-gdi.de/uploads/tx_veranstaltung/Session_3_EQuIP_toolbox_and_strategy-setting_framework.pdf
- Dissart, J. C. "Regional Economic Diversity and Regional Economic Stability: Research Results and Agenda." *International Regional Science Review*, 26(4), 2003, 423–46.
- Elisinger, P. "State Economic Development in the 1990s: Politics and Policy Learning." *Economic Development Quarterly*, 9(2), 1995, 146–58.
- El-Kharouf, F., Al-Qudsi, S., & Obeid, S. (2010). The Gulf Corporation Council Sovereign Wealth Funds: Are They Instruments for Economic Diversification or Political Tools?. *Asian Economic Papers*, 9(1), 124-151.
- Gelb, A., and Sina G. "How Should Oil Exporters Spend Their Rents?" Center for Global Development, Working Paper, (2010), No. 221, pp. 2-25.
- George, D. (2011), *SPSS for windows step by step: A simple study guide and reference*, 17.0 update, 10/e translated by Anonymous Pearson Education India.
- Hvidt, M. (2013). Economic diversification in GCC countries: Past record and future trends.
- Jackson, R. "An Evaluation of Alternative Measures of Regional Industrial Diversification." *Regional Studies*, 18, 1984, 103–12.

- Johon E. wanger, "Regional Economic Diversity: Action, Concept, or of Confusion ", the journal of Rrgional Analysis & policy, JRAP, 2000, p-02
- Killian, M. S., and T. F. Hady. "What Is the Payoff for Diversifying Rural Economies?" *Rural Development Perspectives*, 4(2), 1988, 2–7.
- Klinger, B., and Daniel L. "Export Discoveries, Diversification and Barriers to Entry." *World Bank Policy Research*, (2010). Working Paper no. 5366.
- Le-Yin Z HANG," UNFCCC, "Workshop on Economic Diversification", Teheran, Islamic Republic of Iran 18-19 October 2003, p -07.
- Looney, R. E. (1994). *Industrial development and diversification of the Arabian Gulf economies* (Vol. 70). Jai Pr.
- Martin, R., and P. Sunley. "On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and Explanation." *Journal of Economic Geography*, 15, 2015, 1–42.
- Michael chugozie Anyaehie, Anthony Chukwudi Areji, "Economic Diversification for Sustainable Development in Nigeria", authors & Scientific Research publishing, 2015: <http://www.scirp.org/journal/ojps>, p-89
- Mizuno, K., F. Mizutani, and N. Nakayama. "Industrial Diversity and Metropolitan Unemployment Rate." *Annals of Regional Science*, 40, 2006, 157–72.
- Murphy, M., Andrei S., and Robert W. "Why Is Rent-Seeking So Costly to Growth?" *The American Economic Review*, (1993), Vol. 83, No. 2, pp. 409–414.
- Noseleit, F. "The Role of Entry and Market Selection for the Dynamics of Regional Diversity and Specialization." *Regional Studies*, 49(1), 2015, 76–94.
- Nourse, H. *Regional Economics*. New York: McGraw-Hill, 1968.
- Quigley, J. "Urban Diversity and Economic Growth." *Journal of Economic Perspectives*, 12(2), 1998, 127–38.
- Richardson, H. W. *Regional Economics*. New York: Praeger, 1969.
- Sachs, D. and Andrew M. "Natural Resource Abundance and Economic Growth". Technical Report Development Discussion (Autumn, 1995),

- Paper no. 517a Harvard Institute for International Development
Cambridge: 1, pp. 58-86.
- Seznec, J. F., & Kirk, M. (Eds.). (2010). *Industrialization in the Gulf: a socioeconomic revolution*. Routledge.
- Spelman, W. "Growth, Stability, and the Urban Portfolio." *Economic Development Quarterly*, 20(4), 2006, 299–316.
- UN Documents Gathering a body of global agreements, "Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development": <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- Wagner, J. E. "Regional Economic Diversity: Action, Concept, or State of Confusion." *Journal of Regional Analysis and Policy*, 30(2), 2000, 1–22.
- Wagner, J. E., and S. C. Deller. "Measuring the Effects of Economic Diversity on Growth and Stability." *Land Economics*, 74(4), 1998, 541–56.

البحث الثاني

دور الاستثمار المحسن للنفط في تطوير الاحتياطيات الهيدروكربونية

تركي الحمش *

تمهيد

يعتبر النفط عصب الطاقة في مختلف مجالات الحياة، إذ احتل استهلاكه المرتبة الأولى على سلم مزيج الطاقة العالمي في عام 2017 بنسبة 34%، تلاه الفحم الحجري بنسبة 28%، ثم الغاز بنسبة 23.4%.

يزداد الطلب العالمي على الطاقة يوماً بعد يوم مدفوعاً بشكل رئيسي بالنمو السكاني في العالم وخاصة في الصين التي بلغ عدد سكانها 1.38 مليار نسمة، والهند التي زاد عدد سكانها عن 1.34 مليار نسمة، أي أن سكان هاتين الدولتين يشكلون أكثر من 35.6% من سكان العالم الذين زاد تعدادهم عن 7.5 مليار نسمة في عام 2017. ويتوقع للنفط أن يبقى متربعا على عرش الاستهلاك العالمي حيث يمكن أن يشكل 27% من مزيج الطاقة في عام 2040، يليه الغاز بنسبة 26%، بينما سيشكل الفحم الحجري 21% من مزيج الطاقة، وتقدم مصادر الطاقة غير الأحفورية 26% من المزيج.

يدفع هذا التزايد في الطلب على الطاقة العاملين في الصناعة البترولية لإنتاج كل قطرة نفط يمكن إنتاجها من الممكن، ومع الأخذ بعين الاعتبار أن طرق الإنتاج الأولية للنفط لا تستخرج أكثر من 30-35% من إجمالي الاحتياطي الجيولوجي، أي أنها تترك خلفها حوالي 65-70% من هذا الاحتياطي، عندها يمكن تفهم السبب الكامن وراء البحث عن طرق مختلفة لإنتاج المزيد.

يعتمد إنتاج النفط من مكامنه على الطاقة الطبيعية لهذه المكامن (الضغط الطبقي)، ومع تقدم عملية الإنتاج تنخفض هذه الطاقة بالتدرج حتى الوصول إلى نقطة لا يمكنها بعدها التغلب على الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل في البئر، مما يستدعي تقديم طاقة خارجية للنفط حتى يمكن رفعه إلى السطح. تمثل هذه الطاقة الخارجية أحد أشكال الاستخلاص المحسن للنفط، وقد تكون عبر حقن الماء أو حقن الغاز أو عبر طرق أخرى سيتم التعرض لها لاحقاً في هذه الدراسة، أي أن الاستخلاص المحسن هو كل ما من شأنه تعزيز إنتاج النفط بعد أن تعجز القوى الطبيعية في الممكن عن ذلك.

نال الاستخلاص المحسن للنفط حظه من التقدم التقني الذي شهدته وتشهده مختلف مناحي الصناعة البترولية، فتطورت العديد من الطرق المعروفة وظهرت تقنيات جديدة هنا وهناك تصب في مصلحة التوجه نحو الاستخلاص المحسن مدفوعة بالعديد من النقاط التي من أهمها:

- 1- تطوير الاكتشافات الجديدة قد يكون صعباً ومكلفاً، خاصة في ظل تقلب الأسواق والأسعار.
- 2- بقاء كميات كبيرة من النفط في المكامن لا يمكن إنتاجها بالطرق العادية.
- 3- يمكن للاستخلاص المحسن أن يساهم في تلبية الطلب العالمي على الطاقة.
- 4- نجاح عمليات الاستخلاص المحسن يعني مردوداً اقتصادياً أعلى للحقل.

تضمنت الدراسة عموماً العديد من الأمثلة عن حقول تستخدم تقنيات الاستخلاص المحسن للنفط، ومن الواجب التنويه إلى أن إيراد أحد الأمثلة تحت تصنيف معين لا يعني دوماً أن هذا المثال مختص بهذا التصنيف فقط، إذ أن لكل حالة تشعباتها الخاصة بها، فعند الحديث عن تقنية حقن الماء بالتبادل مع الغاز تم إيراد مثال عن مشروع في حقل Ekofisk في النرويج، وهذه التقنية يمكن تصنيفها تحت حقن الغاز غير القابل للامتزاج وهي الحالة في الحقل، أو تحت حقن الغازات الهيدروكربونية كون هذا النوع من الغازات هو المستخدم في المشروع. كما أن هذه الدراسة لا تهدف إلى استعراض كافة تقنيات الاستخلاص المحسن، بل تسعى من خلال استعراض بعض التقنيات إلى توضيح دور عمليات الاستخلاص المحسن عموماً في الصناعة البترولية.

ملخص تنفيذي

يتزايد الطلب العالمي على الطاقة بشكل متسارع لعدة أسباب من بينها النمو السكاني والاقتصادي في مختلف دول العالم، وخاصة الصين والهند. ومع الأخذ بعين الاعتبار أن معامل الاستخلاص الوسطي على مستوى العالم يتراوح بين 30-35%، فهذا يعني أن قرابة 70% من الاحتياطيات الجيولوجية تبقى في المكامن. وهنا تظهر تقنيات الاستخلاص المحسن للنفط كعامل هام في تلبية الطلب على الطاقة عبر إنتاج كميات إضافية من النفط. قسمت هذه الدراسة إلى قسمين:

القسم الأول اعتنى بتعريف الاحتياطيات والمصادر وتصنيفاتها المختلفة، وبحث في موضوع ذروة إنتاج النفط والانتقادات التي وجهت لفرضية هوبرت.

أما القسم الثاني فتضمن الحديث عن تقنيات الاستخلاص المحسن للنفط وتقديم شرح موجز عن أكثرها شيوعاً، وبيان دورها في تطوير الاحتياطيات من خلال حالات دراسية وأمثلة توضيحية من مختلف دول العالم.

الفصل الأول: الاحتياطيات والمصادر

صدمت شركة Shell المستثمرين في كانون الثاني/يناير 2004، عندما أعلنتهم أنها قد بلغت كثيراً في تقدير احتياطيات النفط والغاز المؤكدة على مدى عدة سنوات، وبجراحة قلم قامت الشركة بشطب 3.9 مليار برميل مكافئ نفط أي ما يعادل 20% من احتياطيات النفط والغاز المؤكدة سابقاً لدى الشركة. وكانت النتيجة أن انخفضت القيمة السوقية للشركة بنحو 15 مليار دولار بعد أن انخفضت أسهم المستثمرين بنسبة 8% (Deutsche Bank، 2013) [1].

ويتبادر للذهن هنا سؤال في غاية الأهمية: أين ذهبت تلك الاحتياطيات التي ناهزت أربعة مليارات برميل مكافئ؟ هل أخطأت شركة كبرى مثل شركة Shell في تقدير احتياطياتها؟

يكمّن الجواب على هذا السؤال في مفهوم: تعريف الاحتياطيات، وهذا ما سوف يتم التطرق له في هذا الفصل، فلا ريب أن الاحتياطيات التي شطبها Shell لم تتبخر ولم تختف، كما أن الشركة لا ترغب بحال من الأحوال في تخفيض قيمتها السوقية، لكن الإجابة عن التساؤلات المتعلقة بها ترتبط بشكل وثيق بتعريف ما يمكن (وما لا يمكن) اعتباره ضمن الاحتياطيات المؤكدة من جهة، وترتبط من جهة أخرى بالمرونة التي تمتلكها الشركات في تفسير ذلك التعريف. وإن كان من الصعب عملياً تفهم موقف الشركة التي وثقت وجود مصادر كبيرة كاحتياطيات مؤكدة لسنين طويلة ثم حولتها إلى احتياطيات محتملة، مما أعطى صورة غير دقيقة لنجاح الشركة في مجال الاستكشاف وإمكانات النمو فيها، ثم غيرت كل ذلك بين عشية وضحاها. هذه النقطة سوف تتم العودة لها لاحقاً بعد تعريف الاحتياطيات.

أولاً: لمحة تاريخية

بزغ نجم الصناعة البترولية في الولايات المتحدة الأمريكية منذ أواخر القرن التاسع عشر، إلا أن مفهوم "تعريف الاحتياطيات البترولية" تأخر ظهوره حتى مطلع القرن العشرين

حين قاد معهد البترول الأمريكي (*) API الجهود الأولية لإيجاد تعريف لاحتياطيات النفط في الولايات المتحدة، حيث شكلت الحكومة الأمريكية في بداية الحرب العالمية الأولى (†) "لجنة الخدمة الوطنية للحرب النفطية" (‡) NPWSC لضمان إمدادات النفط الكافية للمجهود الحربي. وفي نهاية الحرب العالمية الأولى تحولت تلك اللجنة إلى ما يعرف اليوم باسم معهد البترول الأمريكي.

في عام 1937، نشر المعهد تعريف الاحتياطيات النفطية المؤكدة، وتم استخدام تلك التعاريف في التقديرات السنوية للاحتياطيات النفطية في الولايات المتحدة.

لم يول العالم في حينها سوى اهتمام ضئيل باحتياطيات الغاز الطبيعي واستمر الحال على ذلك حتى عام 1946 عندما اعتمدت جمعية الغاز الأمريكية (§) AGA تعاريف لاحتياطيات الغاز المؤكدة بشكل يشابه تعاريف الاحتياطيات المؤكدة من النفط.

وعملياً لم يكن معهد البترول الأمريكي الوحيد في ذلك المجال، إذ تعتبر جمعية مهندسي البترول (***) SPE في طليعة الهيئات التي ساهمت في وضع معايير مشتركة لتعريف المصادر والاحتياطيات البترولية، حيث كان هناك اعتراف في صناعة التعدين Mining عموماً وصناعات النفط والغاز خصوصاً بضرورة وجود مجموعة موحدة من التعاريف المشتركة التي يمكن اعتمادها وتطبيقها بشكل متسق من قبل مختلف الكيانات المهتمة بالصناعة البترولية سواء كانت مالية أو تنظيمية أو علمية.

ولا شك أن الدافع الرئيسي كان المنظور الاقتصادي بشكل أو بآخر إذ أن الشركات وحملة الأسهم احتاجوا إلى منظومة تقييم مرجعية يمكن من خلالها تقدير الجدوى الاقتصادية من المساهمة في مشروع ما هنا أو هناك. أي أن من شأن مجموعة من التعاريف المتفق عليها أن تفيد جميع أصحاب المصلحة في الصناعة البترولية وأن تساهم في تحقيق المزيد من التناسق والشفافية والموثوقية في الأرقام التي يتم تداولها للمصادر والاحتياطيات.

يذكر (John Ritter، 2005) [2] أن المشاركة الأولية لجمعية مهندسي البترول SPE في إيجاد تعاريف للاحتياطيات النفطية بدأت في عام 1962 بعد أن تداعى عدد من البنوك

(*) API: American Petroleum Institute.

(‡) NPWSC: National Petroleum War Service Committee.

(§) AGA: American Gas Association.

(***) SPE: Society of Petroleum Engineers.

(†) امتدت هذه الحرب بين عامي 1914 و 1918.

الأمريكية والمستثمرين الآخرين لإيجاد مجموعة متناسقة من تعاريف الاحتياطيات التي يمكن أن تكون بسيطة ومفهومة بحيث تعتمد عليها الصناعة في المعاملات المالية بحيث تستخدم احتياطيات النفط كضمان. إذ أنه حتى ذلك الحين كان لدى البنوك والمنتجين تعاريف داخلية خاصة بهم، إلا أنها كانت تختلف كثيراً من حيث المضمون والغرض.

وفي عام 1962، شكل مجلس إدارة جمعية مهندسي البترول لجنة تضم 12 عضواً عرفت باسم "اللجنة الخاصة المعنية بتعريف الاحتياطيات المؤكدة لتقييم الممتلكات". وتكونت اللجنة من اثنين من منتجي النفط، وشركة خطوط أنابيب واحدة، وأستاذ جامعي، وبنكين اثنين، وشركتي تأمين (تمثلان الدائنين)، وأربعة استشاريين للنفط. استمر عمل اللجنة لفترة امتدت لنحو ثلاث سنوات قدمت بعدها نتيجة عملها في عام 1965 إلى الجمعية، ومن الطريف أن نتيجة ذلك العمل كانت عبارة عن صفحة واحدة اتخذت نتيجتها بالأغلبية إذ صوت معها سبعة من أعضاء اللجنة بينما وقف خمسة منهم ضدها.

في عام 1981 نشرت جمعية مهندسي البترول تحديثاً لتعاريف الاحتياطيات المؤكدة من النفط والغاز تضمنت تعديلات طفيفة جداً على التعاريف التي اعتمدت عام 1965. وفي عام 1987 تبنت جمعية مهندسي البترول مجموعة من التعاريف المطورة شملت لأول مرة تمييز الاحتياطيات المحتملة والممكنة. وخلال استبيان لآراء أعضاء الجمعية حول تلك التعاريف، تركز الكثير من النقاش حول استخدام تقنيات التقييم الاحتمالية Probabilistic باعتبارها تقنيات مكملة أو بديلة للطرق الأكثر تقليدية. وبعد تلقي التعليقات من أعضاء الجمعية في مختلف أنحاء العالم ولا سيما من أمريكا الشمالية، رفض مجلس إدارة الجمعية إدراج أي من تقنيات التقييم الاحتمالية في تعاريف عام 1987. ونتيجة لذلك فشلت تلك التعاريف في الحصول على قبول دولي واسع النطاق.

شكل عام 1997 علامة بارزة في مجال التوحيد المعياري للمقاييس Standardization عندما اتفقت جمعية مهندسي البترول، والمجلس العالمي للبترول (*) WPC على تعاريف الاحتياطيات النفطية (SPE et al، 2010) [3]، ومنذ ذلك الحين ما فتئت الشركة تعمل باستمرار على تحديث التعاريف، إذ تم عملياً تحديث التعاريف عام 2000 بالاتفاق بين جمعية مهندسي

(*) WPC: World Petroleum Council.

البتترول، والمجلس العالمي للبتترول، وجمعية جيولوجيي البترول الأمريكية^(*) AAPG، حيث اعتمد ما يسمى "نظام تصنيف وتعريف المصادر النفطية"^(†) PRCSD. وتم لاحقاً تحديث التعاريف في عام 2007 واعتمد التحديث من نفس الهيئات سابقة الذكر مؤيدة من قبل "جمعية مهندسي التقييم البترولي"^(‡) SPEE. وقد توج هذا الأمر بنشر "نظام إدارة الموارد البترولية"^(§) PRMS المتعارف عليه حالياً في مختلف دول العالم.

ثانياً: تعريف الاحتياطيات والمصادر

ينظر إلى تعريف الاحتياطيات على أنه قطب الرحي في الصناعة البترولية، ذلك أن صناعة الطاقة التي تدير العالم تهتم حتماً بكمية المصادر المتاحة لها. ولما كان الاستثمار المحسن للنفط يركز في الدرجة الأولى على تنمية وتطوير الاحتياطيات كان لابد من إرساء تعريف للمصطلحات التي قد تكون مربكة أحياناً.

يعتبر نظام إدارة الموارد البترولية من أشهر نظم تعريف المصادر والاحتياطيات على حد سواء، ويشكل قاعدة لتصنيف وتمييز كل من المصادر والاحتياطيات البترولية، وعلى الرغم من أن النظام يشمل تصنيف المصادر برمتها، فإنه يركز بالدرجة الأولى على الكميات المقدرة القابلة للبيع^(**). ولأنه لا يمكن إنتاج أي كميات نفطية وبيعها بدون تركيب (أو الوصول إلى) مرافق الإنتاج والتجهيزات السطحية ومرافق النقل المناسبة، فإن نظام إدارة الموارد البترولية يستند إلى تمييز واضح بين محورين أساسيين، هما:

1- مشروع التطوير الذي عمل أو سوف يعمل على إنتاج النفط من حقل أو أكثر، ويركز على وجه الخصوص على فرصة تسويق المشروع واقتصاديته.

2- مدى عدم اليقين أو عدم الموثوقية Uncertainty في كميات النفط المتوقع إنتاجها وبيعها في المستقبل من مشروع التطوير هذا.

يوضح الشكل-1 العلاقة بين هذين المحورين في نظام إدارة الموارد البترولية، ويلاحظ منه أن كل مشروع يتم تصنيفه حسب حالته استناداً إلى قيمته التجارية ضمن ثلاثة تصنيفات،

(*) AAPG: American Association of Petroleum Geologists.

(†) PRCSD: Petroleum Resources Classification System and Definitions.

(‡) SPEE: Society of Petroleum Evaluation Engineers.

(§) PRMS: Petroleum Resources Management System.

(**) المقصود بها تلك الكميات القابلة للإنتاج.

مع وجود خيار لإضافة المزيد من التصنيفات الفرعية في حال الحاجة لذلك. وهذه التصنيفات هي:

1. الاحتياطيات.

2. المصادر المشروطة.

3. المصادر المنظورة أو المرتقبة.

وكل من هذه التصنيفات الرئيسية له فروع ترتبط بمدى عدم اليقين فيكون التقدير منخفضاً أو مرتفعاً أو يعتبر أفضل تقدير (تخمين)، وهذا ما سوف يتم توضيحه.

1-1 الاحتياطيات Reserves:

هو تعبير عام يشير إلى كميات البترول (النفط والغاز) التي يتوقع أن تكون قابلة للإنتاج بشكل تجاري عند تطبيق مشاريع تطوير على تجمعات معروفة بدءاً من توقيت معين وضمن شروط محددة.

تدرج تحت هذا التصنيف العام تصنيفات تفصيلية يبينها ما يلي:

1-1-1 الاحتياطيات المؤكدة Proved Reserves:

هي تلك الكميات التي بينت الدراسات الجيولوجية والهندسية بدرجة معقولة من اليقين أنه يمكن إنتاجها من مكامن معروفة وضمن شروط اقتصادية وفنية ومعايير حكومية تنظيمية محددة. وهي ما يشار لها برمز (IP)، وهذا الرمز أو الاختصار مأخوذ من كلمة Proved. تعبر هذه الاحتياطيات عملياً عن السيناريو الأدنى في تقدير الاحتياطي، وتمثل احتمالية 90%، أو ما يسمى (P90)، أي أن هناك احتمال 90% لإنتاج هذه الكمية من الاحتياطيات. تنقسم هذه الاحتياطيات بدورها إلى:

1-1-1-1 الاحتياطيات المؤكدة المطورة Proven Developed Reserves:

وهي تلك الاحتياطيات المؤكدة التي يمكن إنتاجها باستخدام الآبار والبنية التحتية الموجودة فعلياً في الحقل.

1-1-1-2 الاحتياطيات المؤكدة غير المطورة Proven Undeveloped Reserves:

وهي تلك الاحتياطيات المؤكدة التي يحتاج إنتاجها إلى المزيد من البنى التحتية وعمليات الحفر.

1-1-2 الاحتماليات المحتملة Probable Reserves:

هي كميات غير مؤكدة، لكن احتمال وجودها يبلغ 50%، أي أنها تمثل احتمالية (P50)، وتستخدم للتعبير عن الاحتمالي المقدر لمنطقة لم يصل إليها الحفر، إلا أن المعطيات الجيولوجية المتوفرة تشير عند مقارنتها مع مناطق أخرى معروفة إلى احتمال وجود النفط فيها.

يشار لمجموع كلٍ من الاحتماليات المؤكدة والاحتماليات المحتملة برمز 2P، ومصدر الرمز هو كلمتي: Proved+ Probable.

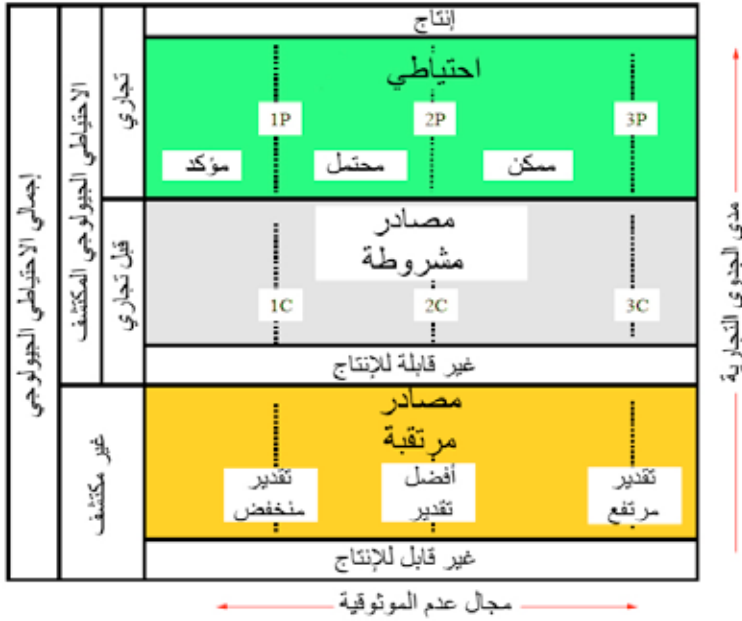
1-1-3 الاحتماليات الممكنة Possible Reserves:

وهي كميات تقترح التحاليل الجيولوجية والدراسات الفنية الأخرى إمكانية وجودها، لكن احتمال وجودها أو اكتشافها لا يتعدى 10% (P10).

يشار لمجموع كلٍ من الاحتماليات المؤكدة والاحتماليات المحتملة والاحتماليات الممكنة برمز (3P)، ومصدره: Proved+ Probable+ Possible. وهذا المجموع يعبر عن سيناريو التقدير الأعلى للاحتتماليات في حقل ما.

لذلك يمكن تلخيص ما سبق بالقول إن تقديرات الاحتمالي قد تكون متحفظة (احتمالي مؤكدة)، أو عملية (مؤكدة + محتمل)، أو متفائلة (مؤكدة + محتمل + ممكن).

الشكل 1: الإطار العام لتصنيف المصادر والاحتياطيات



المصدر: SPE et al., 2011.

ولابد من التنويه إلى أن الشركات النفطية تعمل على اعتبار أن احتمالية الاحتياطي المؤكد تبلغ 90%، واحتمالية الاحتياطي المتفائل 10%، بينما تكون احتمالية الاحتياطي العملي 50%. وهي تدرس اقتصادية الاحتياطي والإنتاج بناء على ثلاثة سيناريوهات تقوم على التقديرات السابقة، وتأخذ بعين الاعتبار معها عدة سيناريوهات لأسعار النفط وغيرها من المتغيرات مثل الطقس والأمن والتعاون المحتمل مع السكان المحليين.

استناداً إلى ما سبق، يمكن التأكيد على أن تقدير الاحتياطي يبقى خاضعاً لدرجة من الشك مهما كان تصنيفه، فلاحظ أنه حتى بالنسبة للاحتياطي المؤكد لم تصل درجة الموثوقية أو اليقين في تقديره إلى 100% (الحمش، 2010) [4].

واعتماداً على التصنيف العام، تدخل كل الأنواع سالفه الذكر تحت تصنيف الاحتياطي الجيولوجي التجاري المكتشف.

1-2-2 Resources: المصادر

يشار إلى كل كميات النفط والغاز الموجود في القشرة الأرضية سواء كانت قابلة أو غير قابلة للإنتاج باسم المصادر البترولية، وتعتبر جزءاً من الاحتياطي الجيولوجي المكتشف لكنها لم تدخل بعد تحت تصنيف الاحتياطي التجاري. وتقسم المصادر بدورها إلى مصادر مشروطة (شرطية) ومصادر غير مشروطة (غير شرطية) كما هو موضح فيما يلي:

1-2-1 Contingent Resources: المصادر المشروطة

يمكن من خلال التعريف تفسير سبب تسمية هذه المصادر بالمشروطة أو الشرطية، إذ أنها كميات يقدر أنها قابلة للإنتاج عندما يحقق مشروع ما معايير (شروطاً) معينة تسمح بنقل هذه المصادر إلى خزانة الاحتياطيات، كأن يكون هناك حقل قريب يحتوي على بنية تحتية وسعة إنتاج وتخزين ونقل ملائمة، وأن تكون فرصة التسويق الاقتصادية للمشروع المعني معقولة ضمن الظروف المهيمنة في وقت التقدير. هذه المصادر المشروطة تتفرع بدورها إلى:

- 1C: وتمثل التقدير الأدنى للمصادر المشروطة (تقدير متحفظ).
- 2C: تمثل أفضل سيناريو لتقدير المصادر المشروطة (تقدير عملي).
- 3C: تمثل التقدير المتفائل للمصادر المشروطة (تقدير متفائل).

هذا النوع من المصادر يدخل بدوره تحت مظلة الاحتياطي الجيولوجي المكتشف، لكنه ليس تجارياً بعد.

1-2-2 Prospective Resources: المصادر المرتقبة

هي كميات غير مكتشفة يقدر أنها (قد) تكون قابلة للإنتاج في حال اكتشافها. يعتمد تقدير هذه المصادر على عدة نقاط كالاستعانة بالمسح الزلزالي لمنطقة ما، ومن الجلي أن التقديرات في هذه الحالة تخضع للكثير من عدم اليقين خاصة وأنها تتم على منطقة لم تحفر بها آبار استكشافية بعد. ومثلها مثل باقي أنواع الاحتياطي، تقسم تقديرات المصادر المنظورة إلى ثلاثة أنواع، تقديرات متحفظة، وعملية، ومتفائلة. وهذا النوع من المصادر يندرج تحت مظلة الاحتياطي الجيولوجي غير المكتشف.

1-3 التصنيف الروسي للاحتياطيات

رغم أنه ليس من التصنيفات الرائجة خارج بلد منشأه، لكن من المفيد التطرق بشكل موجز إلى التصنيف الروسي للاحتياطيات، خاصة وأن روسيا تعتبر أكبر منتج للنفط في العالم وتمتلك نحو 6% من إجمالي احتياطي العالم من النفط، كما أن هذا التصنيف كثيراً ما يصادفه الباحثون أثناء دراستهم عن بعض دول الكومنولث CIS، والتي تمتلك مع روسيا 9% من احتياطي العالم من النفط. وفيما يلي استعراض مبسط لأنواع الاحتياطيات حسب التصنيف الروسي (OGJ، 1992) [5]:

1-3-1 النوع A:

يمثل احتياطيات تم دراستها بشكل دقيق بحيث أنها مؤكدة من ناحية النوع والحجم وسماكة المكمن ونوعية صخوره وسماكة النطاق المنتج والتغيرات السحنية والنطاقات المشبعة بالنفط والغاز، وغيرها من العوامل الأخرى. وربما يمكن القول إن هذا النوع يقابل في التصنيف العالمي الشائع ما يدعى بالاحتياطيات المؤكدة القابلة للإنتاج.

1-3-2 النوع B:

يعبر عن تجمعات من البترول تم تحديدها على أسس تجارية من بعض الآبار التي حفرت بحيث أن الاحتياطيات من هذا النوع قد تصلح لوضع خطة تطوير للحقل.

1-3-3 النوع C1:

تقديرات استندت على نتائج إيجابية من آبار أمكن الحصول منها على شواهد بترولية دون أن توضع على الاختبار. وربما يمكن اعتبار هذا النوع مقابلاً للاحتياطيات المحتملة حسب التصنيف العالمي المتعارف عليه.

1-3-4 النوع C2:

احتياطيات تم تقديرها بناء على معلومات جيولوجية وجيوفيزيائية من منطقة لم تجرى عليها عمليات الاستكشاف بعد. كما قد تدل أحياناً على احتياطيات يتوقع وجودها في طبقات لم تختبر بعد. أي أن هذا النوع يمكن اعتباره مقابلاً لما يسمى بالاحتياطيات الاستدلالية Inferred أي الاحتياطيات التي تم الاستدلال على وجودها من الدراسات فقط.

ويتابع التصنيف الروسي وصولاً إلى C3، وD1، وD2 وهي حسب مقابلها الأمريكي قد تكون احتياطات ممكنة، أو افتراضية، أو تكهنيّة Speculative. كما يوجد تصنيف فرعي للمصادر المخمّنة Prognostic Resources وهي تلك المصادر التي تتعدى حدود المنطقة المدروسة، وتصنف إلى:

1- 3-5 النوع P1:

يعتمد تقديره على تقدير المصادر في مناطق مشابهة لمنطقة المدروسة.

1- 3-6 النوع P2:

يقدر بناء على المعلومات الجيوفيزيائية والجيوكيميائية المتاحة، وتقارن مع معلومات البنى التركيبية المشابهة في مناطق أخرى.

1- 3-7 النوع P3:

تدخل تحت هذا النوع أي ترسبات يحتمل أن تتمتع بإمكانية الاحتواء على البترول. تعتمد التصنيف الدولية للاحتياطات على تمييز التجمعات البترولية، ونوعية البيانات المتاحة، والعامل الاقتصادي، وهي تضع مسؤولية كبيرة على عاتق الخبير الذي يعمل على التقدير. ورغم الاختلافات الطفيفة بين هذه التصنيف، إلا أنها تشترك في كونها تقدم إطاراً عاماً لعملية تقدير الاحتياطات.

أما التصنيف الروسي الذي ظهر في الستينات من القرن الماضي على عهد الاتحاد السوفيتي السابق، فهو يعتمد على وصف عمليات الاستكشاف والحساب والتقدير مجتمعة، أي أنه يترك مساحة صغيرة جداً للخبرة في عملية التقدير. لكن هذا لا يعني الانتقاص من شأنه إذ أن الاكتشافات البترولية في تلك المنطقة من العالم وغيرها من المناطق التي عملت فيها الشركات الروسية تدل على أن هذا التصنيف له أسس وقواعد نجحت في الوصول إلى كميات هائلة من الاحتياطات، خاصة وأنه خضع للكثير من التعديلات خلال العقود الماضية.

وقبل السير قدماً في هذه الدراسة لا بد من التأكيد على أن مفهوم الاحتياطات عموماً - على اختلاف تصنيفاتها- هو مفهوم حسابي وليس مفهوماً فيزيائياً ملموساً، بمعنى أن هذه الاحتياطات يتم تقديرها استناداً إلى معادلات رياضية تتضمن عناصرها الكثير من عدم

اليقين. فعلى سبيل المثال تستخدم المعادلة الحجمية العامة التالية لتقدير الاحتياطي النفطي في أي مكن.

$$N(t) = \frac{Ah\phi So}{Bo}$$

حيث:

N: الاحتياطي الجيولوجي عند الزمن t.

A: مساحة المكن، و **h:** سماكة المكن، و ϕ مسامية المكن.

So: درجة التشبع بالنفط، و **Bo:** معامل حجم التشكيلة للنفط.

يلاحظ أن جميع العوامل المذكورة في المعادلة تخضع لدرجة من عدم اليقين تختلف باختلاف طريقة تقديرها. فسماعة المكن مثلاً ليست من الناحية العملية رقماً ثابتاً محدداً فالمكن ليس شكلاً هندسياً مرسوماً بدقة، بل هو صخور تختلف سماكتها من منطقة لأخرى، ونفس الأمر ينطبق على المساحة، وعلى المسامية وباقي عناصر المعادلة.

وللوصول إلى حل للمعادلة يتبنى هذه الاختلافات في تقدير عناصر المعادلة، يتم اللجوء إلى وضع حدٍ أعلى وحدٍ أدنى لكل عنصر من العناصر، مما يترك مجالاً واسعاً لتغير قيمة العناصر بين هذين الحدين وبالتالي ستتغير نتيجة المعادلة حسب كل تغير في قيمة أي عنصر. أي أن هناك عملياً مئات إن لم نقل آلاف النتائج التي يمكن الحصول عليها من المعادلة، وللتغلب على هذه الصعوبة في الحل، تستخدم الصناعة برامج كومبيوتر يمكنها إيجاد مجال واسع من النتائج، ومن أشهرها محاكي Monte Carlo Simulator الذي يعمل على تقديم نتائج حل المعادلة عند تغيير كل عنصر من عناصرها على شكل مخطط يمكن من خلاله الحصول على عدة تقديرات متحفظة أو متفائلة أو مؤكدة (الحمش، 2010) [6].

1-4 ذروة إنتاج النفط

تعتبر فكرة أو فرضية ذروة إنتاج النفط من بين العوامل التي ساهمت في الدفع قدماً نحو تطوير طرق الاستخلاص المحسن للنفط، إذ أن التخوف من تراجع الإنتاج لعب دوراً هاماً في السعي نحو المحافظة قدر الإمكان على الحقول عاملةً لاستثمار كل ما يمكن استثماره منها.

يشير تعبير ذروة إنتاج النفط Peak Oil إلى النقطة التي يصل عندها معدل إنتاج النفط في حقل ما (أو على مقياس أوسع في بلدٍ ما) إلى أعلى قيمة له، ثم يبدأ بعدها بالتناقص التدريجي. وهذه الفرضية لها مؤيدوها الذين تبنوها ويدافعون عنها، في مقابل المعارضين الذين يرون أن ذروة إنتاج النفط ربما تكون صحيحة نظرياً، لكنها لا تزال بعيدة عن الواقع في الوقت الراهن. وأول من نادى بفرضية ذروة إنتاج النفط كان هوبرت Hubbert الذي عمل في مجال الجيوفيزياء في شركة Shell في خمسينات القرن الماضي.

يحسب لهوبرت أنه تنبأ بأن ذروة إنتاج النفط الأمريكي ستكون في عام 1970، وكان ذلك قبل 14 عاماً من الوصول لتلك الذروة. هذا النجاح أعطى لفرضيته زخماً وتأيداً في مختلف أنحاء العالم. وكانت الفكرة بسيطة تقوم على أن إنتاج النفط الأمريكي سوف يزداد بشكل أسّي، لكنه سيتوقف عن التزايد لأن الاحتياطيات محدودة ويعود بعدها للتراجع. وبذلك فإن منحنى الإنتاج سيكون له شكل الجرس كما هو مبين في الشكل-2، حيث يرتفع الإنتاج بالتدريج حتى الوصول إلى قيمة لا يمكنه تجاوزها وتعبّر عن الطاقة العظمى للحقل أو للحقول المنتجة، ويستمر عندها لفترة ما ثم يبدأ بالتناقص حتى الوصول إلى مرحلة لا يعود الإنتاج بعدها مجدداً اقتصادياً.

الشكل- 2: مخطط افتراضي لشكل منحنى الإنتاج حسب فرضية هوبرت



إدارة الشؤون الفنية، أوابك، 2018

1- 4- 1 فرضية هوبرت

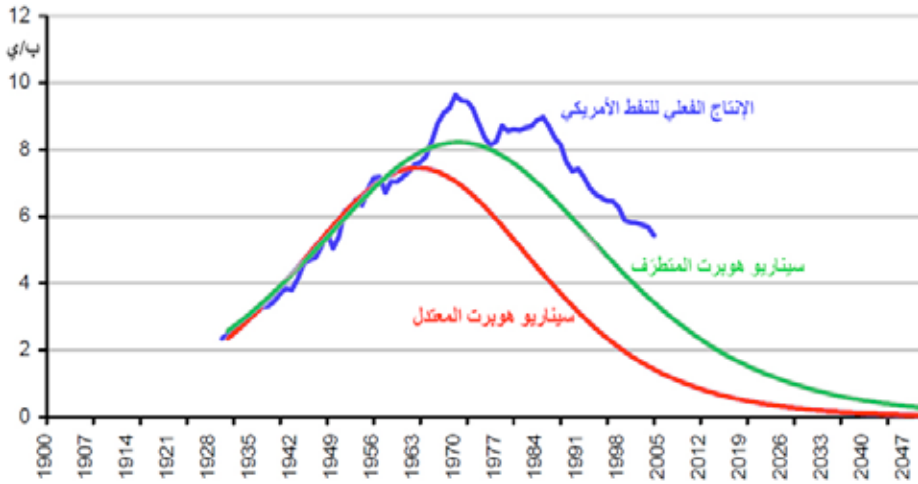
استندت فرضية هوبرت التي نُشرت عام 1956 على أن أفضل سجل لعمليات استثمار الوقود الأحفوري Fossil Fuel هو سجل استثمار الفحم الحجري، حيث توفرت لدى هوبرت في حينها بيانات عن إنتاج الفحم الحجري منذ عام 1860، وقارن هوبرت منحنيات إنتاج الفحم الحجري مع منحنيات إنتاج النفط فوجد بينها تشابهاً من ناحية ارتفاع معدل الإنتاج بشكل أسّي حتى الوصول إلى نقطة دعاها باسم نقطة الانعطاف Inflection Point والتي يتغير عندها اتجاه منحنى الإنتاج.

تشير دراسة هوبرت (Hubbert، 1956) [7] إلى أنه وفي محاولة منه للتنبؤ بالسنة التي سيتغير فيها اتجاه منحنى إنتاج النفط، اعتمد على العديد من الافتراضات حول الاحتياطي الجيولوجي النفطي في الولايات المتحدة الأمريكية وفي العالم، والاحتياطيات المتوقعة اكتشافها، ومعدل الإنتاج السنوي، كما افترض أن حجم احتياطيات الغاز سواء الأمريكية أو العالمية يمكن تقديرها من خلال معرفة نسبة الغاز إلى النفط (Gas to Oil Ratio) في حال البحث عن ذروة إنتاج الغاز (*). ومن خلال تلك البيانات وضع هوبرت أكثر من سيناريو لذروة الإنتاج في الولايات المتحدة وفي العالم، لكن الملاحظ أن السيناريو الشائع لمنحنى هوبرت

(*) هذا الافتراض بطبيعة الحال لا يمكن القبول به بشكل مطلق إذ لا يأخذ بعين الاعتبار احتياطيات حقول الغاز الحر.

كان فقط السيناريو المتطرف Extreme أو سيناريو الحالة القصوى إن صح التعبير، كما هو مبين في الشكل- 3، ويلاحظ منه أنه توقع في الحالة المعتدلة أن معدل إنتاج النفط الأمريكي لن يزيد عن 7.4 مليون ب/ي في عام 1963، لكن الواقع أن أعلى إنتاج للنفط الأمريكي تجاوز حد 9 ملايين ب/ي في عام 1970. كما توقع هوبرت أن يصل الإنتاج العالمي إلى ذروته في عام 2000، وفي سيناريو آخر توقع أن تكون ذروة الإنتاج العالمي من النفط في عام 2006.

الشكل- 3: سيناريوهات إنتاج الخام الأمريكي حسب هوبرت



2013، Deutsche Bank

1- 2-4 الانتقادات التي وجهت لفرضية هوبرت

واجهت فرضية هوبرت العديد من الانتقادات، منها افتراضها وجود كمية محددة من النفط في باطن الأرض، ومنها أن تلك الفرضية لم تأخذ بعين الاعتبار أسعار النفط، وتغيرات الوضع الاقتصادي، والتطورات التقنية، وعدم دقة تقديرات الاحتياطيات الجيولوجية أو المؤكدة، وعدم النظر في المصادر غير التقليدية للنفط. فهذه النقاط تؤثر كلها على الاحتياطي الأعظمي القابل للإنتاج. Ultimate Recoverable Reserves.

1-2-4-1 تأثير أسعار النفط:

ربما يمكن القول إن كمية النفط الإجمالية الموجودة في باطن الأرض لا تهتم بحد ذاتها بقدر أهمية الاحتياطي القابل للإنتاج بشكل اقتصادي. إذ أن ارتفاع أسعار النفط يعني أن هناك كميات أكبر يمكن إنتاجها، حيث تزداد الاستثمارات في الاستكشاف والحفر وإنشاء البنى التحتية، بينما تقل هذه الكميات مع انخفاض الأسعار ويصبح بعضها خارج هامش المردود الاقتصادي.

1-2-4-2 تأثير التكنولوجيا:

لو تم غض النظر عن أسعار النفط، فإن بعض الاحتياطيات قد تكون اقتصادية مع استخدام التقنيات المتطورة مثل المسح الزلزالي ثلاثي الأبعاد، والحفر الأفقي والحفر الموجه، وغيرها، والنفط الذي كان يعتبر مستحيل أو صعب الإنتاج قبل نحو ستين عاماً، بات طوع الإنتاج اليوم مع استخدام معدات وتقنيات لم تكن متوفرة حين نشر هوبرت دراسته.

1-2-4-3 تقدير كمية الاحتياطيات العظمى القابلة للإنتاج:

من الصعب جداً تقدير هذا النوع من الاحتياطيات بدقة كافية، ويعرف العاملون في مجال جيولوجيا البترول تلك العبارة الشهيرة: "ارسم حدود الممكن خارج حدود الورقة". وتعني أن احتمال امتداد الممكن - وبالتالي كمية الاحتياطي الجيولوجي- قد تكون أكبر بكثير من المتوقع.

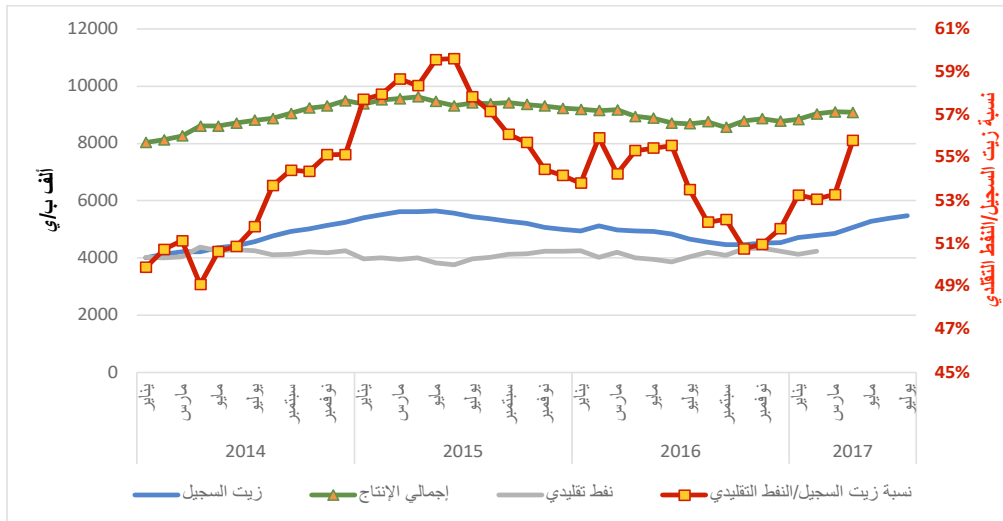
وفي دراسته اعتبر هوبرت أن الاحتياطي الأعظمي للولايات المتحدة قد يكون 150 أو 200 مليار برميل، وبنى فرضيته على ذلك الأساس. لكن العودة إلى بيانات إدارة معلومات الطاقة الأمريكية (*) EIA [8] تبين أن الولايات المتحدة أنتجت أكثر من 218.7 مليار برميل حتى نهاية عام 2016، ولا تزال تمتلك أكثر من 35 مليار برميل من الاحتياطيات المؤكدة القابلة للإنتاج (أوبك، 2016) [9].

وقد يقول قائل إن هذا الرقم يتضمن بيانات إنتاج زيت السجيل، وهو على صواب طبعاً. لذلك تم في هذه الدراسة مراجعة جميع البيانات الشهرية لإنتاج زيت السجيل في الولايات

(*) البيانات المتاحة في جداول الإكسل على موقع إدارة معلومات الطاقة الأمريكية تبدأ من عام 1900، لذلك تم استخلاص باقي البيانات (1860-1899) من المخطط الموجود على موقع الإدارة.

المتحدة منذ مطلع عام 2014 من تقارير إدارة معلومات الطاقة(*)، كما تمت العودة إلى تقديرات إدارة معلومات الطاقة لإنتاج زيت السجيل^[10] منذ عام 2000، لكن تلك البيانات هي تقديرات ليست بدقة التقارير الشهرية، لذلك تمت مقارنة كميات الإنتاج الكلي من النفط الخام مع بيانات التقارير الشهرية فقط، ونتيجة لذلك لوحظ أن إنتاج زيت السجيل مثل وسطياً نحو 54% من إنتاج الولايات المتحدة الأمريكية بين مطلع عام 2014 وحتى منتصف عام 2017. أي حوالي 40 شهراً من الإنتاج، كما هو مبين في الشكل- 4.

الشكل- 4: إنتاج النفط التقليدي وزيت السجيل في الولايات المتحدة الأمريكية



إدارة الشؤون الفنية، أوابك، 2018. بناء على معلومات التقارير الشهرية والسنوية لإدارة الطاقة الأمريكية، 2017.

بناء على ذلك تم حذف 54% من إجمالي إنتاج النفط الأمريكي بعد عام 2008 وهو العام الذي انعكس به منحني إنتاج النفط، ولوحظ بالتالي أن الولايات المتحدة أنتجت أكثر من 197 مليار برميل حتى نهاية عام 2016. أي أن الإنتاج التراكمي لها (بدون زيت السجيل) بلغ أكثر مما كان مقدراً في ورقة هوبرت عندما اعتبر أن الإنتاج الأعظمي سيكون 150 مليار برميل، كما أن الولايات المتحدة لا تزال تنتج النفط التقليدي، وبالتالي فإن الإنتاج التراكمي لها سوف يزيد بالتأكيد عن 200 مليار برميل التي اقترضاها هوبرت في السيناريو الثاني.

(*) لا تتوفر بيانات شهرية تفصيلية دقيقة عن كميات إنتاج زيت السجيل قبل عام 2014 على موقع إدارة معلومات الطاقة.

وهنا يمكن إضافة نقطة أخرى إلى الانتقادات التي وجهت لفرضية هوبرت وهي أنه لم يأخذ بعين الاعتبار إنتاج النفوط غير التقليدية، مثل رمال القار في كندا، أو زيت السجيل كما هي الحال في الولايات المتحدة.

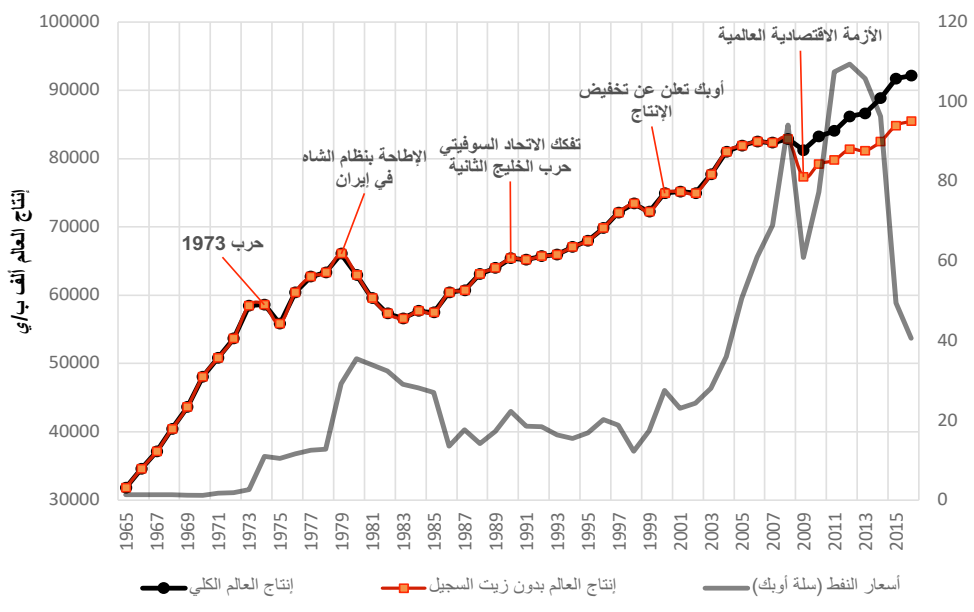
وقد سبقت الإشارة إلى أن هوبرت افترض أن يصل الإنتاج العالمي من النفط إلى ذروته في عام 2000 أو 2006، لكن العودة إلى بيانات الإنتاج العالمي المنشورة في العديد من المصادر تعطي صورة أخرى. فعلى سبيل المثال يلاحظ من بيانات (BP، 2017) [11] أن منحنى الإنتاج يتابع زيادته حتى لو حذفنا تأثير إنتاج زيت السجيل الأمريكي من إجمالي الإنتاج العالمي كما هو مبين في الشكل- 5.

ويلاحظ من الشكل- 5 أيضاً أن هناك عدة تراجعات في الإنتاج العالمي على مدى العقود السابقة، لكن هذه التراجعات (الذرى إن صح التعبير) لا يمكن النظر إليها بمعزل عن تغير أسعار النفط من جهة، وعن التأثيرات الجيوسياسية من جهة أخرى، إذ تراجع معدل الإنتاج العالمي بعد حرب عام 1973، كما حصل تراجع واضح بعد الإطاحة بنظام الشاه في إيران عام 1979.

ويبدو واضحاً التزامن بين معدلات الإنتاج وبين تذبذب أسعار النفط، كما كان عليه الحال في عام 2008 إثر الأزمة الاقتصادية العالمية والتي هبط خلالها سعر سلة خامات أوبك من

94.1 دولار/البرميل، إلى 60.86 دولار/البرميل [12].

الشكل- 5: الإنتاج اليومي من النفط على مستوى العالم



إدارة الشؤون الفنية، أوابك، 2018. بناء على بيانات BP، 2017 بالنسبة للإنتاج وبيانات Statista، 2017 بالنسبة للأسعار الاسمية لسلة أوبك.

إضافة إلى ما سبق، يوجه العديد من الباحثين (ومن بينهم البروفيسور Michael C. Lynch)^(*) انتقادات علمية إلى أتباع فرضية منحنى هوبرت إجمالاً، ومن بينهم Jean Laherrere الذي يحمل لواء التبشير بفرضية ذروة إنتاج النفط عبر استخدام إحصائيات مؤسسة IHS عن عدد الاكتشافات وحجمها وعدد الحقول في العالم وإنتاجها^(*). ويرى (Lynch، 2016)^[13] أن هناك عدداً كبيراً من الأخطاء في تقديرات Laherrere وغيره، والتي تتجاهل أو تفسر بشكل خاطئ العوامل الجيوسياسية والاقتصادية التي تؤثر على عمليات الاستكشاف والإنتاج، اعتماداً على كميات كبيرة من البيانات التي مهما كان مصدرها ونوعها سوف تعطي (حسب رأي البروفيسور Lynch) شكلاً معيناً عند رسمها على مخطط ما. كما ينظر إلى هوبرت على أنه جانب الصواب عندما اعتمد على رقم ثابت للاحتياطيات العظمى القابلة للإنتاج، مع أن تغير التقنيات وازدياد المعرفة وتمدد البنى التحتية وغيرها من

^(*) Micheal Lynch، رئيس معهد الدراسات الاستراتيجية والطاقة، وأستاذ مشرف على طلبة الماجستير في جامعة فيينا حالياً، وكان سابقاً باحثاً اقتصادياً في مؤسسة IHS ورئيساً لقيادة اقتصادي الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية.
^(*) Jean Laherrère مهندس بترول فرنسي متقاعد (عمره 86 عاماً) وأحد مؤسسي رابطة دراسة ذروة إنتاج النفط والغاز Association for the Study of Peak Oil and Gas.

العوامل، تؤثر كلها مجتمعة لتجعل من رقم الاحتياطيات العظمى القابلة للإنتاج رقماً ديناميكياً يتغير بتغير هذه العوامل.

إنما وبطبيعة الحال فإن أي مصدر محدود سواء كان من النفط أو غيره، سوف يكون له نقطة بداية للإنتاج، وذروة، ثم نقطة نهاية لهذا الإنتاج. لكن السؤال الذي تصعب الإجابة عليه هو: متى سينضب هذا المصدر؟ إذ أن إنتاج النفط ليس مجرد وضع حقل على الإنتاج بمعدل يومي ثابت، بل هناك تغيرات في معدل الإنتاج ترتبط بالوضع الجيولوجي والفني للحقل، كما ترتبط هذه التغيرات بعوامل خارجية مثل الأسعار وغيرها كما تقدم.

وبالتالي فإن فرضية هوبرت رغم الانتقادات التي توجه لها، لا يمكن تجاهل خلاصتها وهي أن المصدر غير المتجدد سينضب يوماً ما، ويمكن اعتبارها فرضية مقبولة إذا بقيت كل المعطيات (باستثناء الاحتياطيات المؤكدة) ثابتة في وقت تقدير ذروة الإنتاج.

وبالعودة إلى المثال الوارد في بداية هذا الفصل عن شركة Shell وشطبها لما يقارب 4 مليار برميل مكافئ نفط من احتياطياتها، يتبين أن تلك الكمية الهائلة لم تشطب لأسباب فنية جيولوجية، بل لأسباب مالية بحتة، حيث ذكرت الشركة أن أكثر من نصف تلك الاحتياطيات كان مرصوداً Booked في حقل Gordon للغاز الطبيعي في أستراليا، وفي باقي عملياتها في المياه العميقة في نيجيريا حيث لم تكن قد حصلت حينها على موافقة الحكومة على خطط التطوير التي وضعتها.

أي أن الشركة لم يكن لديها شك في وجود الاحتياطيات في باطن الأرض ضمن مشاريعها، لكنها خفضت معدل اليقين في تقدير الاحتياطيات لأسباب ارتبطت بتكلفة الإنتاج (Lynch، 2004)^[14].

وهذا المثال يوضح بجلاء الأهمية الفائقة لتفاصيل تقدير الاحتياطيات وآليته ومدى ارتباطه بعدد كبير من العوامل يساهم كل منها عند تغييره في تغيير التقديرات سلباً أو إيجاباً.

الفصل الثاني الاستخلاص المحسن للنفط

بات الاستخلاص المحسن للنفط جزءاً لا يتجزأ من أنشطة الاستكشاف والإنتاج، ذلك أن الصناعة البترولية تحاول دوماً البحث عن مصادر جديدة ترفد الإنتاج القائم حالياً. ورغم انخفاض أسعار النفط الملحوظ منذ أواخر عام 2014، إلا أن الأسعار الحالية (خاصة بعد التحسينات الأخيرة) لا تزال قادرة على دعم الإنتاج التقليدي من النفط، إضافة إلى دعمها لإنتاج كميات إضافية عبر تقنيات الاستخلاص المحسن التي ساهمت في الوصول إلى احتياطات لم تكن سابقاً متاحة فنياً أو مجدية اقتصادياً.

الاستخلاص المحسن للنفط

مع أن العالم يمضي قدماً في أبحاث الطاقة المتجددة وتطويرها، إلا أن الكثيرين يرون أن تلبية الطاقات المتجددة لاحتياجات العالم مرهونة باكتشاف تقنيات جديدة من جهة، ومرتبطة بالسياسات الحكومية من جهة أخرى، وفي حال عدم توفر هذين الشرطين يرى الرئيس التنفيذي لشركة BP (Bob Dudley) أن الطاقة المتجددة لن تلبى أكثر من 10% من الطلب العالمي على الطاقة في عام 2035 (OGJ، 2017) [15]. كما يرى أن أسطول السيارات في العالم سوف يتضاعف خلال الأعوام العشرين القادمة، مما يعني أن مصادر الطاقة الأحفورية سوف تزرح تحت وطأة تلبية القسم الأكبر من الطلب على الطاقة خلال العقود القادمة. ولما كان عدد الاكتشافات العملاقة في العالم في تراجع مستمر، فإن الاستخلاص المحسن يشكل مصدراً لا يستهان به لإنتاج كميات إضافية من النفط.

2-1 تعريف الاستخلاص المحسن للنفط

منذ أن ظهر مصطلح الاستخلاص المعزز (المدمع) للنفط EOR (Enhanced Oil Recovery) كان هناك توافق غير معطن بين العاملين في الصناعة البترولية على أن هذا المصطلح يعني عمليات الإنتاج الثالثي للنفط مثل استخدام التقنيات الكيميائية والحرارية وعمليات حقن الغاز القابل للانحلال في النفط. ثم ظهر لاحقاً تعبير الاستخلاص

المحسن للنفط Improved Oil Recovery دون وجود تعريف محدد له، و غالباً ما كان يستخدم كمرادف من حيث المعنى لمصطلح EOR منذ خمسينات القرن الماضي.

لكن مصطلح الاستخلاص المعزز للنفط فقد بريقه عندما فشلت بعض المشاريع المرتكزة على هذا النوع من الاستخلاص في تحقيق أهدافها سواء لأسباب فنية أو اقتصادية، عندها بدأ تعبير الاستخلاص المحسن يشق طريقه حثيثاً في المؤتمرات العالمية وخاصة تلك التي تقيمها جمعية مهندسي البترول وإدارة الطاقة الأمريكية Department of Energy على أمل استقطاب المزيد من الاهتمام والمزيد من المشاركة في المؤتمرات، حتى تم عملياً اعتماد مصطلح الاستخلاص المحسن للنفط في مطلع التسعينات من القرن الماضي.

هذا التمييز بين المصطلحين لا يهدف فقط إلى توضيح الصورة للعاملين في الصناعة البترولية، لكنه أيضاً عامل هام يرتبط بعدة نقاط يتم الارتكاز عليها في عدة حالات، أهمها:

- 1- عند تحديد حجم الاحتياطات.
- 2- عند مناقشة الشروط التعاقدية لمشروع ما.
- 3- عند البحث عن الحوافز الحكومية في الدول التي تقدم هذا النوع من الحوافز للشركات البترولية.

يعتبر هذا التمييز عنصراً من عناصر تحديد نسبة الضرائب على الإنتاج في بعض الدول. ويساهم في رسم الصورة العامة للوضع الاقتصادي في مشاريع التطوير.

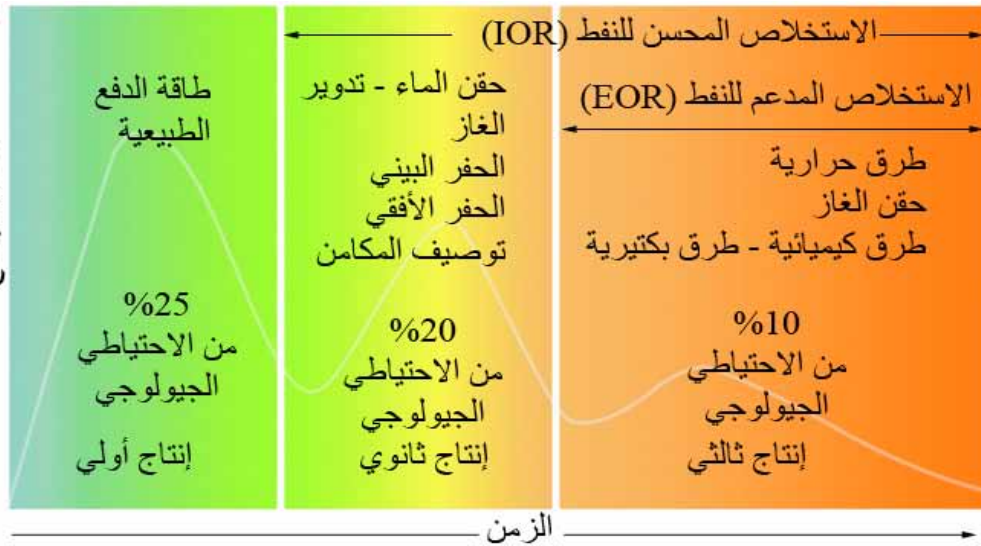
ويمكن باختصار تعريف **الاستخلاص المدعم للنفط** بأنه: الإنتاج عبر حقن غازات أو مواد كيميائية، أو عبر الطرق الحرارية والبكتيرية.

أما **الاستخلاص المحسن للنفط**، فهو يغطي عملياً كل التقنيات المستخدمة بما فيها عمليات الحفر البيني Infill Drilling وتوصيف المكامن Reservoir Characterization. أي أن الاستخلاص المدعم هو تعبير أكثر تخصصاً ويمكن اعتباره فرعاً من الاستخلاص المحسن.

يتضمن **الشكل- 6** مخططاً يوضح الفرق بين كلٍ من الاستخلاص المحسن والاستخلاص المدعم.

وهنا لابد من التمييز بين العمليات التي تسعى إلى زيادة معدل الإنتاج، وبين العمليات التي تساهم في رفع معامل الاستخلاص. وللتبسيط يمكن القول إنه لو احتوى مكن ما على احتياطي مؤكد قابل للإنتاج من النفط يبلغ **س** برميل، فإن زيادة معدل الإنتاج لا تعني بالضرورة أن المكن سينتج كمية إجمالية أكبر من النفط أكبر من **س**، بل تعني أن نفس الكمية سوف يتم إنتاجها بشكل أسرع. أما رفع معامل الاستخلاص فيعني أنه يمكن إنتاج إضافة كميات جديدة من الاحتياطيات إلى **س** تضاف إلى الاحتياطيات المؤكدة القابلة للإنتاج.

الشكل- 6: مخطط يوضح تصنيف طرق الإنتاج



إدارة الشؤون الفنية، أوابك، 2018. المخطط بدون مقياس، والنسب تقريبية

واعتماداً على عمر عملية الإنتاج، يمكن تقسيم الإنتاج إلى ثلاث مراحل: أولي، وثانوي، وثالثي [16]:

2-1-1 الإنتاج الأولي:

هو الإنتاج اعتماداً على قوى الدفع الطبيعية الموجودة في المكن، ولا يحتاج بالتالي إلى أي عملية دعم كحقن المياه أو غيرها. يرتبط معامل الاستخلاص في حالة الإنتاج الأولي بالضغط الأولي للمكن وعمقه، ولزوجة النفط وتركيبه، وطبيعة الصخور وخصائصها الفيزيائية، وقطر مواسير الإنتاج المستخدمة، وقطر المقطع النهائي للبئر، والعديد من العوامل

الأخرى. يبلغ معامل الاستخلاص وسطياً في حالة تطبيق طرق الإنتاج الأولي حوالي 25% من الاحتياطي الجيولوجي.

2-1-2 الإنتاج الثانوي:

يشار بالإنتاج الثانوي إلى حالة استخدام حقن الماء، أو حقن الغاز غير القابل للامتزاج للمحافظة على الضغط الطبقي (ورفعه أحياناً)، أو إعادة تدوير الغاز، أو الحفر البيئي، أو الحفر الأفقي، أو توصيف المكامن، أو استخدام أكثر من تقنية من هذه التقنيات في آنٍ واحد. أي أن الإنتاج الثانوي هو تقنية يتم من خلالها تقديم طاقة دفع إضافية للمكمن من بئر ماء، والإنتاج من بئر آخر. يبلغ معامل الاستخلاص عموماً في هذه الحالة 20% من الاحتياطي الجيولوجي.

2-1-3 الإنتاج الثالثي:

يتضمن تطبيق تقنيات متقدمة مثل حقن المواد الكيميائية، وحقن الغازات القابلة للامتزاج، أو أي تقنية أخرى يمكنها إنتاج كميات نفط أكبر من تلك التي أنتجت بالطرق الثانوية.

عموماً، لم تعد عمليات الاستخلاص المدعم تعتبر من العمليات الثالثة التي تلي الإنتاج الأولي والثانوي، إذ باتت تطبق أكثر فأكثر في المراحل الأولى من الحياة الإنتاجية للحقل قبل الوصول إلى الحد الاقتصادي للإنتاج الثانوي. لذلك سيتم في هذه الدراسة الاكتفاء بتعبير الاستخلاص المحسن للنفط لمختلف التقنيات، كونه التعبير الأشمل إلا إذا دعت الحاجة لغير ذلك.

2-2 مُعامل الاستخلاص Recovery Factor

تتبع أهمية الحديث عن معامل الاستخلاص من حقيقة أن التقنيات المستخدمة في الاستخلاص المحسن للنفط تحاول العمل على رفع قيمة هذا المعامل.

يعبر معامل الاستخلاص أو معامل الإنتاج عن كمية النفط التي يمكن إنتاجها من إجمالي تقديرات الاحتياطيات الجيولوجية، أي أنه النسبة المئوية بين حجم النفط القابل للإنتاج وحجم الاحتياطي الجيولوجي، وينطبق نفس التعريف على الغاز.

يمثل نمو الاحتياطات القابلة للإنتاج انعكاساً لنمو هذه النسبة، ولا بد هنا من التأكيد على نقطة في غاية الأهمية، وهي عدم الموثوقية، أو الشك Uncertainty. إذ يخضع تقدير الاحتياطي - كما ذكر سابقاً- لعدة عوامل تجعل من قيمته رقماً تقريبياً، وهذا يرتبط بدوره بمعامل الاستخلاص الذي يبقى رقماً تقريبياً لا يمكن الجزم بدقته، مما يقود إلى فكرة مفادها أن المعرفة الدقيقة لقيمة معامل الاستخلاص الأعظمي Ultimate Recovery Factor أمر غير ممكن عملياً إلا عند إنتاج آخر قطرة نפט من الممكن.

يستخدم معامل الاستخلاص لتقدير الاحتياطي في بداية مشروع ما، أما لاحقاً ومع تدفق المزيد من المعلومات فإن تقدير الاحتياطي يعتمد على فعالية أداء الآبار Well Performance، وعلى عمليات المحاكاة Simulations، وعلى طرق حسابية أخرى مثل معادلة توازن المادة (*). لكن التقديرات الجديدة بدورها (بعد تطبيق أو خلال دراسة تطبيق إحدى تقنيات الاستخلاص المحسن)، تعمل على تقدير قيمة جديدة لمعامل الاستخلاص تستخدم بدورها لتقدير الجدوى الاقتصادية من مشروع ما.

حاولت العديد من الأبحاث والدراسات تقدير معامل الاستخلاص الوسطي على مستوى العالم، ومن بينها دراسة (Guerrero، 1961) [17] التي صنفت معامل الاستخلاص حسب آلية الدفع في عملية الإنتاج كما هو مبين في الجدول- 1، حيث يلاحظ أن الدفع بالجاذبية يحتل المكانة العظمى بين آليات الإنتاج. لكن الواقع أن الحصول على معامل استخلاص مرتفع بهذا الشكل يتطلب وجود مكن يتمتع بسماكة مرتفعة وينتج لفترة طويلة من الزمن بدون تداخل من قوى أخرى.

وهذا عملياً أمر نادر إذ غالباً ما سوف يكون هناك تأثير للدفع المائي أو للغاز المنحل أو القبة الغازية في حال وجودها، وهذه التأثيرات ستؤدي إلى اضطراب تأثير الدفع بالجاذبية. مما يعني أن بيانات الجدول- 1 لا تصلح للتعميم على كل حقول العالم.

(* من الصعب استخدام هذه المعادلة في حالة تقدير احتياطات الغاز إلا بعد مرور عدة سنوات على استثمار حقل ما.

الجدول- 1: معامل الاستخلاص حسب آلية الدفع

معامل الاستخلاص % من الاحتياطي الجيولوجي		آلية الدفع
الوسطي	المدى	
3	5 – 2	تمدد الممكن
18	25 – 12	الغاز المنحل
30	40 – 20	دفع القبعة الغازية
30	40 – 20	دفع المياه الجانبية
45	60 – 35	دفع الحوض المائي السفلي
60	70 – 50	الدفع بالجاذبية

1961، Guerrero

وفي دراسة أخرى أجريت من قبل "هيئة المحافظة على مصادر الطاقة" الكندية (ERCB) على حقول ألبرتا في كندا، تمت محاولة ربط معامل الاستخلاص بنوع النفط المنتج، وآلية عملية الدفع (ERCB، 1990) [18]، ويبين **الجدول- 2** فحوى هذه الدراسة.

الجدول- 2: معامل الاستخلاص حسب آلية الدفع ونوع الخام

معامل الاستخلاص			آلية الدفع	نوع النفط
الإجمالي	المحسن	الأولي		
22	-	22	أولي	خفيف- متوسط
30	14	16	دفع مائي	
58	31	27	مخفضات لزوجة	
46	5	41	دفع غازي	
8	-	8	أولي	ثقيل
29	20	9	دفع مائي	

1990، ERCB

يلاحظ من **الجدول- 2** أن الاستخلاص المحسن بالدفع المائي في حالة الخام الخفيف والمتوسط كان أقل من نظيره في حالة النفط الثقيل، مما يعطي مؤشراً على أن الاستخلاص المحسن في هذه الحالة سيكون أكثر فاعلية عندما تكون القوى الطبيعية للمكمن أقل تأثيراً على آلية الإنتاج.

ومما لا شك فيه أن تقدير معامل الاستخلاص الوسطي أمر يعود إلى قاعدة البيانات المتاحة للباحث، حيث تختلف نتائج التقديرات باختلاف المعلومات المتوفرة، وهنا يمكن الإشارة إلى دراسة (Sandra and Sandra، 2007) [19] التي رأت أن معامل الاستخلاص الوسطي على مستوى العالم يمكن ربطه بألية الإنتاج كما هو موضح في الجدول-3.

الجدول-3: معامل الاستخلاص الوسطي للنفط على مستوى العالم

معامل الاستخلاص % من الاحتياطي الجيولوجي	التقنية
	الإنتاج الأولي
5%	تمدد السائل والصخور
20%	دفع الغاز المنحل
30%	تمدد القبعة الغازية
40%	الدفع بالجاذبية
50%	الدفع المائي
	الإنتاج الثانوي
حتى 70%	حقن الغاز
	الإفاضة بالمياه
	الإنتاج الثالثي
حتى 80%	حراري
	كيميائي
	غاز قابل للذوبان

Sandra and Sandra، 2007

هذا الجدول يجب أن ينظر له بتمعن وحذر إذ أن أرقامه قد تعطي انطباعاً غير صحيح في البداية، ذلك أن هذه الأرقام هي أرقام نظرية، فالقول مثلاً إن الإنتاج الثالثي يمكن أن يدفع بمعامل الاستخلاص إلى 80%، لا يعني أن هذا ما يحصل عملياً، لكنه يعني أن 80% من هذه الاحتياطيات الجيولوجية يمكن أن تكون (نظرياً) قابلة للإنتاج، بينما سيبقى 20% من هذه الاحتياطيات عسياً على مختلف تقنيات الاستخلاص المحسن لأنه عبارة عن نفط غير قابل للحركة.

ترى الدراسة المذكورة أن طاقة دفع الغاز المنحل هي الطاقة الأوسع انتشاراً في حقول العالم ويمكن أن يصل معامل الاستخلاص بهذه الطاقة إلى 20% من الاحتياطي الجيولوجي الأولي، كما ترى أن نحو ثلث حقول العالم تنتج بطاقة الدفع المائي. وعند تطبيق تقنية حقن

الماء في بداية الإنتاج للحفاظ على الضغط الطبقي، فإن معامل الاستخلاص النظري قد يصل إلى 70%، لكنه في الواقع نادراً ما يتجاوز 60%، وغالباً ما يكون في مجال 45-50%.

وتتابع الدراسة بأن معامل الاستخلاص في حقول النفط الثقيل ($API > 22.3$) تتراوح بين 10-15%، ويمكن أن يرتفع إلى 20-25% بطرق الإنتاج الثانوي، كما يمكن لتقنيات الاستخلاص المدعم أن تضيف 2-3% إلى معامل الاستخلاص، ليكون معامل الاستخلاص الإجمالي لهذه الحقول نحو 30%.

أما في حقول النفط الثقيل جداً (مثل نفط حزام Orinoco في فنزويلا)، فإن معامل الاستخلاص بطاقة دفع الغاز المنحل (الإنتاج البارد) لا يزيد عن 10%، ويعتقد أن تقنيات الاستخلاص المدعم يمكنها أن تضيف 10-15% إلى معامل الاستخلاص.

تبرز إشكالية هذا النوع من الدراسات في الواقع عند محاولة تعميم النتائج، إذ ليس من السهل وضع قيمة تقديرية لمعامل الاستخلاص لأكثر من 40 ألف حقل في العالم تنتج من مكامن مختلفة، وقد ذهبت بعض الأبحاث إلى أن معامل الاستخلاص العالمي يتراوح بين 27-35%، وترى الجمعية الأمريكية لجيولوجيي البترول أن هذا الرقم هو 40%.

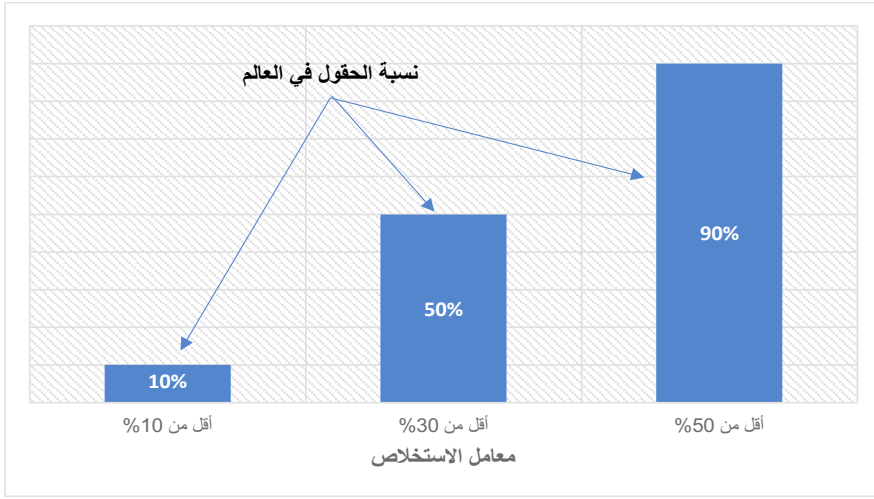
لكن نتائج كل هذه الدراسات (ومهما كانت قواعد بياناتها) تبقى نتائج تقديرية، حيث أن خصائص كل حقل وكل مكامن تختلف عن غيرها، وبالتالي يبقى أمر تقدير معامل الاستخلاص الوسطي أمراً نسبياً بحتاً.

ويمكن للتبسيط القبول بأن 10% من حقول النفط في العالم يبلغ بها معامل الاستخلاص(*) أقل من 10%، و50% من حقول العالم يبلغ بها معامل الاستخلاص أقل من 30%، وحوالي 90% من حقول العالم يبلغ بها معامل الاستخلاص أقل من 50%، كما هو موضح في

الشكل- 7.

(*) تقدر بعض الدراسات معامل الاستخلاص للغاز الطبيعي بحوالي 80-90%.

الشكل- 7: نسبة الحقول في العالم حسب معامل الاستخلاص



إدارة الشؤون الفنية، أوابك، 2018

هذا الاهتمام بقيمة معامل الاستخلاص له ما يبرره، إذ أن الوصول إلى رقم معقول يعني إمكانية تقدير الاحتياطي الأعظمي القابل للإنتاج^(*)، وتقدير كميات الاحتياطي التي تشكل هدفاً لتقنيات الاستخلاص المحسن للنفط.

2- 3 حدود تقنيات الاستخلاص المحسن

تركز غالبية شركات النفط اليوم على رفع معامل الاستخلاص، فضلاً عن الحفاظ على معدل الإنتاج الاقتصادي، ومن أهم العوامل التي تدفع بالشركات في هذا الاتجاه:

- 1- صعوبة اكتشاف حقول نفطية جديدة وخاصة في ضوء تذبذب أسعار النفط والذي يرفع من عامل المخاطرة في عملية الاستكشاف.
- 2- الاكتشافات الجديدة صغيرة نسبياً إذ باتت الاكتشافات العملاقة الجديدة مؤخراً معدودة على الأصابع.
- 3- تقع الأحواض غير المستكشفة بعد في مناطق نائية وحساسة بيئياً في العالم (مثل القطب الشمالي والقطب الجنوبي). وذلك يعني أن تكلفة عمليات الاستكشاف والإنتاج ستكون مرتفعة مقارنة مع الأحواض القريبة من المناطق المأهولة.

^(*) ذكر سابقاً أن المعرفة الدقيقة لقيمة هذا المعامل أمر لا يتحقق إلا عند إنتاج آخر قطرة نفط ممكنة من الحقل، وبالرغم من ذلك فلا بد من تقدير قيمة ما تبني عليها الدراسات الاقتصادية.

- 4- على الرغم من وجود كميات هائلة من الهيدروكربونات غير التقليدية، مثل النفط الثقيل جداً وزيت السجيل وغيرها، فإن العديد من التقنيات المستخدمة لاستغلال هذه الموارد تحتاج لكميات كبيرة جداً من الطاقة (مثل عمليات حقن البخار)، كما تتعرض الشركات التي تعمل في هذا المجال لضغوطات إعلامية كبيرة من المجموعات المدافعة عن البيئة.
- وإذ يرسم الحديث عن طرق الاستخلاص المحسن صورة تغشاها ملامح التفاؤل عادة، لكن الواقع يبين أن هناك حدوداً لتقنيات الاستخلاص المحسن من الصعب تجاوزها في بعض الأحيان، ولعل من أهمها ما أورده دراسة (Muggeridge، 2014) [20]:
- 1- مشاريع الاستخلاص المحسن هي مشاريع صعبة التصميم والتطوير والتنشغيل، وتحتاج إلى عناية فائقة بالتفاصيل قبل وخلال تنفيذها.
 - 2- نتائج تطبيق هذه التقنيات لا تبدأ بالظهور بسرعة، فقد تمر سنوات قبل أن يصبح ممكناً الحكم بنجاح أو فشل التقنية المستخدمة، وهذا يعني أن معامل المخاطرة مرتفع سواء من الناحية الفنية أو البيئية أو الاقتصادية.
 - 3- يصعب تطبيق هذا النوع من المشاريع عموماً على حقول المغمورة بسبب المساحة المحدودة على منصات الحفر والإنتاج، وهذا ما سيبين من خلال مثال لاحق عن حقل Cantarell في المكسيك.

2-3-1 اختيار التقنية المناسبة

تعتمد فعالية عمليات الاستخلاص المحسن إلى حدٍ كبير على خصائص النفط من جهة، وعلى مواصفات الحقل والمكمن من جهة أخرى، ذلك أن مواصفات المكمن تؤثر على آلية استخلاص النفط منه، مما يعني أن التفهم الدقيق لهذه البيانات أمر في غاية الأهمية لتحديد التقنية المناسبة. كما أن اختيار التقنية المناسبة يلعب دوراً هاماً من الناحية الاقتصادية إذ ليس من المعقول تجشم عناء اختبار تقنية ناهيك عن تطبيقها، دون النظر في المعايير التي ترشح تقنية دون أخرى من الناحية العملية. وفي هذا المجال تستخدم حالياً عدة برمجيات تساعد على

إجراء التصفية أو الغربلة الأولية للتقنيات(*) المحتمل تطبيقها في حقل ما، وهذه البرمجيات تستند إلى معايير ترتبط بمواصفات النفط والحقل والممكن كما تقدم.

وقد بينت ورقة (Taber et al، 1997) [21] أهم المعايير التي يمكن الاستئناس بها عند اختيار تقنية الاستخلاص المحسن المناسبة، وشكلت الأساس لعدة برمجيات انتشرت لاحقاً ومن بينها على سبيل المثال لا الحصر برنامج (EORgui) الذي أعده مختبر تقنيات الطاقة الوطنية في وزارة الطاقة الأمريكية [22]. يبين الجدول- 4 المعايير الدنيا المقبولة عند اختيار الطريقة الأمثل للاستخلاص المحسن للنفط اعتماداً على مواصفات النفط ومواصفات الممكن. ولا بأس هنا من الإشارة إلى مثال عن حقول بحر الشمال التي تتميز بأنها عميقة وتحتوي على نفط خفيف منخفض اللزوجة، وتبلغ درجة الحرارة لمياه البحر نحو 4° مئوية، مما يلغي إمكانية استخدام التقنيات الحرارية بسبب الضياعات الحرارية التي ستنتج عن برودة المياه والجو. وبما أن النفط خفيف ومنخفض اللزوجة، فإن استخدام حقن البوليمير يصبح غير عملي، وإن كان استخدام حقن البوليمير مع منشطات التوتر السطحي وحقن غاز ثاني أكسيد الكربون من بين التقنيات المرشحة للاستخدام في المستقبل [23]. وبناء على ظروف الحقول ومواصفات النفط فقد اختيرت خمس تقنيات للاستخدام في بحر الشمال (Awan et al، 2018) [24]، وهي:

- 1- حقن الماء بالتبادل مع الغاز WAG.
 - 2- حقن الرغوة بالمساندة مع حقن الماء بالتبادل مع الغاز FAWAG.
 - 3- الحقن المتزامن للماء والغاز SWAG.
 - 4- حقن البكتريا MEOR.
 - 5- حقن الغاز القابل للامتزاج MGI.
- ويلاحظ أن الغاز شائع الاستخدام في عمليات الاستخلاص المحسن في بحر الشمال، وهو أمر يفسره توفر الغاز المرافق المنتج مع النفط.

(*) Screening

الجدول-4: المعايير الدنيا المقبولة عند اختيار الطريقة الأمثل للاستخلاص المحسن للنفط

مواصفات النفط				مواصفات المكمن					
التقنية	كثافة النفط API°	اللزوجة سنتي بواز	التركيب	التشبع بالنفط %	تركيب المكمن	سمالة المكمن المقبولة متر	متوسط النفاذية ميلي داسي	العمق متر	درجة مئوية
حقن الغاز									
غازات هيدروكربونية	أعلى من 35	أقل من 10	نسبة عالية من C ₂ - C ₇	أعلى من 30	رملي أو كلسي	قلبية، الإ في حالة وجود ميل شديد	غير هامة	أكثر من 610 عند استخدام LPG، وأكثر من 1500 للبقية	غير هامة
نتروجين	أعلى من 35	أقل من 10	نسبة عالية من C ₁ - C ₇	أعلى من 30	رملي أو كلسي	قلبية، الإ في حالة وجود ميل شديد	غير هامة	أكثر من 1370	غير هامة
غازات عوادم	أعلى من 24	أقل من 10	نسبة عالية من C ₁ - C ₇	أعلى من 30	رملي أو كلسي	قلبية، الإ في حالة وجود ميل شديد	غير هامة	أكثر من 1370	غير هامة
ثاني أكسيد الكربون	أعلى من 26	أقل من 15	نسبة عالية من C ₂ - C ₁₂	أعلى من 30	رملي أو كلسي	قلبية، الإ في حالة وجود ميل شديد	غير هامة	أكثر من 610	غير هامة
الطرق الكيميائية									
مشطبات التوتر السطحي/ بوليمير	أعلى من 25	أقل من 30	خفيف متوسط	أعلى من 30	الأفضل رملي	أكثر من 3	أكثر من 20	أكثر من 2400	أقل من 79
بوليمير فقط	أعلى من 25	أقل من 150	غير هام	أعلى من 10	الأفضل رملي وممكن في الكلسي	غير هام	أكثر من 10	أقل من 2740	أقل من 93
قلويات	3.5-13	أقل من 200	وجود حموض عضوية	وجود نفط متحرك	الأفضل رملي	غير هام	أقل من 20	أقل من 2740	أقل من 93
الطرق الحرارية									
الحرق في الموضع	أقل من 40 (25-10)	أقل من 1000	وجود مركبات استوائية	أعلى من 40-50	الأفضل رملي بمسامية عالية	أكثر من 3	أكثر من 100	أكثر من 152	أعلى من 65
الإفخاضة بالبخار	أقل من 25	أعلى من 20	غير هام	أعلى من 40-50	الأفضل رملي بمسامية عالية	أكثر من 6	أكثر من 200	1500-90	غير هامة

المصدر: حمش، 2010، بناء على بيانات Taber et al، 1997. البيانات الأساسية تضمنت العمق بوحدة القدم، ودرجة الحرارة بوحدة الفهرنهايت.

2- 4 تقنيات الاستخلاص المحسن

ربما تكون الطريقة الأفضل لتناول هذا الموضوع هي استعراض بعض التقنيات من خلال طرح أمثلة عن مشاريع تبنتها مختلف دول العالم. وقد يلاحظ هنا أن الحديث عن تقنية معينة لا يستقيم بدون الحديث عن تقنية أخرى مترافقة معها، فحقن الغاز قد يترافق مع حقن الماء مثلاً، وبالتالي لا يمكن الفصل بينهما بشكل قاطع، لكن المبدأ يدور حول محور التقنية الأساسية التي استخدمت.

1-4-2 حقن الغاز

تعتبر تقنية حقن الغاز من بين أقدم التقنيات التي تم التفكير باستخدامها في عمليات الاستخلاص المحسن، وتذكر دراسة (Abbasi et al، 2010) [25] أن هذه الفكرة ظهرت منذ عام 1864، وتعتمد على أن حقن الغاز في الممكن يمكن أن يحد من معدل تراجع قوى الدفع الطبيعي، كما يمكن له أن يلعب دوراً في دعم قوى الدفع بالجاذبية. أي أن الهدف الرئيسي من هذه التقنية في بداياتها كان رفع معدل الإنتاج، والمحافظة على الضغط الطبقي، بينما باتت هذه التقنية تهدف حالياً إلى رفع معامل الاستخلاص (الحمش، 2010) [26].

يتضمن حقن الغاز غير القابل للامتزاج (الانحلال) Immiscible حقن الغاز المنتج مع النفط (الغاز المرافق أو المصاحب)، والنيتروجين، وغازات العوادم Flue Gas وغاز ثاني أكسيد الكربون، وغيرها. وتتشابه آلية عمل الغاز غير القابل للامتزاج مع آلية عمل الغاز في القبة الغازية، حيث يتمدد الغاز دافعاً أمامه كميات من النفط باتجاه البئر، فكأنه بذلك يؤدي دور المكبس Piston. ومع أن مردود هذه التقنية منخفض نسبياً بالمقارنة مع تقنية الإفاضة بالمياه، لكنها في بعض الأحيان تكون التقنية الأفضل، مثل حالات:

- المكامن منخفضة النفاذية.
- عندما يحتوي المكامن على نسبة من الصلصال Clay الذي يزداد حجمه بوجود الماء.
- عندما يتكون المكامن من طبقات رقيقة تنتج بقوى دفع الغاز المنحل.

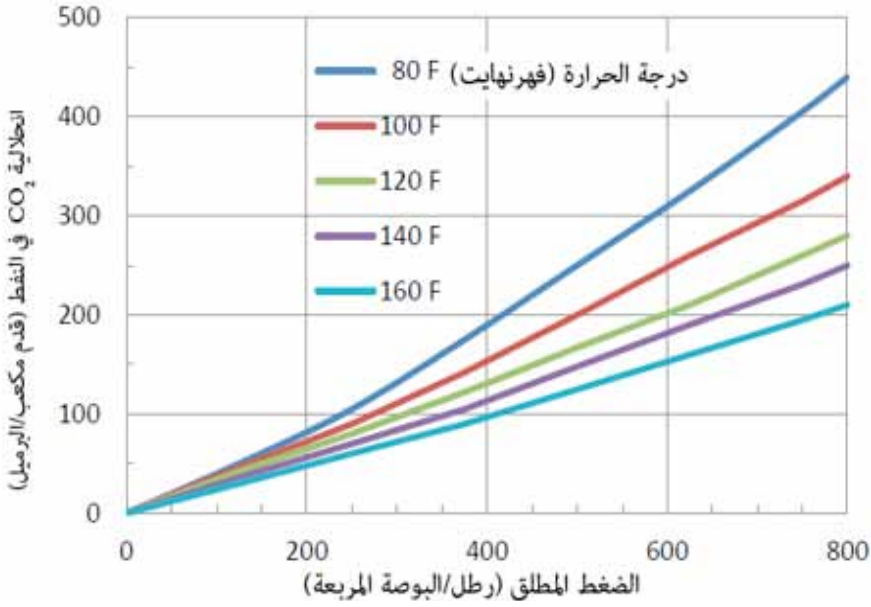
- في المكامن شديدة الانحدار حيث يمكن حقن الغاز في أعلى المكامن، وهذه الطريقة فعالة جداً في المساهمة بإزاحة النفط عن طريق قوى الثقالة (الجاذبية).
- في المكامن التي تكون التشكيلة المنتجة فيها سميكة ومنخفضة الميل، وتتصف بنفاذية عمودية تزيد عن 200 ميلي دارسي md.

يستخدم حقن الغاز القابل للامتزاج Miscible نفس الغازات المشار إليها أعلاه، ولكن الغاز يكون قابلاً للامتزاج بالنفط عند ضغط أعلى من ضغط الامتزاج الأصغري (الأدنى) Minimum Miscibility Pressure، عند نفس درجة الحرارة^[27]. فغاز ثاني أكسيد الكربون على سبيل المثال يصبح قابلاً للامتزاج مع النفط في درجة حرارة تزيد عن 31° مئوية عندما يكون الضغط أعلى من 74 بار. وهذه الشروط تسود في العديد من المكامن، ولكن الكثير من المكامن من جهة أخرى تكون درجة حرارتها أعلى من ذلك وضغوطها أعلى أيضاً، وعند ارتفاع درجة الحرارة تقل كثافة غاز ثاني أكسيد الكربون مما يستلزم وجود ضغط مرتفع أكثر للوصول إلى حالة الامتزاج أو الانحلال.

يبين الشكل- 8 العلاقة بين الضغط ودرجة الحرارة وقابلية غاز ثاني أكسيد الكربون للانحلال في النفط (Verna، 2015)^[28] ويلاحظ منه أن ارتفاع درجة الحرارة من 27° مئوية (80° فهرنهايت) إلى 71° مئوية (160° فهرنهايت) عند ضغط 27.6 بار (400 رطل/البوصة المربعة)، يسبب انخفاض قابلية انحلال غاز ثاني أكسيد الكربون في النفط إلى النصف تقريباً*).

(*) الشكل لا يأخذ بعين الاعتبار التركيب الكيميائي للنفط.

الشكل- 8: انحلال غاز ثاني أكسيد الكربون في النفط بالعلاقة مع الضغط ودرجة الحرارة



Verma, 2015.

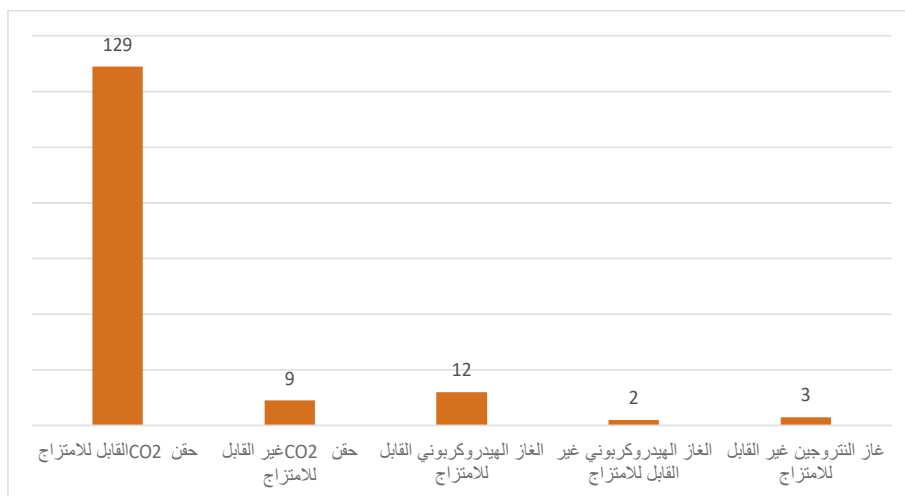
يعمل حقن الغاز القابل للامتزاج على زيادة فعالية الإزاحة^(*) الميكروسكوبية عبر تخفيض أو إلغاء التوتر السطحي بين النفط وبين مائع الإزاحة (أي الغاز القابل للامتزاج في هذه الحالة). وعند استخدام هذه التقنية بعد الإفاضة بالمياه، فهي تعمل على إيجاد مسار يتحرك عبره النفط المتبقي، مما ينتج عنه انخفاض التشبع المتبقي بالنفط Residual Oil Saturation، لكن الغاز عموماً أقل لزوجة وأقل كثافة من النفط مما قد يقلل من فعالية الإزاحة، وبالتالي يبقى التشبع بالنفط المتبقي مرتفعاً نسبياً. إنما من الواجب القول إن ذلك لا ينطبق على جميع الحالات، فقد سجلت حالات نادرة انخفض فيها التشبع بالنفط المتبقي إلى 2%.

^(*) فعالية الإزاحة تعبر بالتعريف عن كمية النفط التي تم إنتاجها من نطاق جرى كسحه (Swept) بالماء أو بمائع آخر.

وقد لوحظ من بيانات المسح الإحصائي الذي قامت به مجلة النفط والغاز عام 2014 (الشكل-9)، أن من بين 155 مشروعاً لحقن الغاز في الولايات المتحدة، كان هناك 129 مشروعاً لحقن غاز ثاني أكسيد الكربون القابل للامتزاج، و9 مشاريع لحقن غاز ثاني أكسيد الكربون غير القابل للامتزاج، أي أن 89% من مشاريع حقن الغاز في الولايات المتحدة استخدمت غاز ثاني أكسيد الكربون (Kooottungal، 2014) [29]، ولعل أهم مبرر لذلك هو توفر مصادر وخطوط أنابيب لنقل هذا الغاز بأسعار تتراوح بين 35-70 دولار/ مليون متر مكعب (1-2 دولار/ مليون قدم مكعب).

ولابد من التنويه هنا إلى أن شبكة أنابيب نقل غاز ثاني أكسيد الكربون في الولايات المتحدة الأمريكية ليست وليدة الأمس (Husted، 2009) [30]، إذ أن بناءها احتاج لثلاثين عاماً امتدت بين 1975 و2005. كما أن معظم خطوط هذه الشبكة مملوكة للقطاع الخاص، مما يخلق جواً من المنافسة بين الناقلين لتقديم أفضل الأسعار.

الشكل-9: توزيع مشاريع حقن الغاز في الولايات المتحدة حتى عام 2014

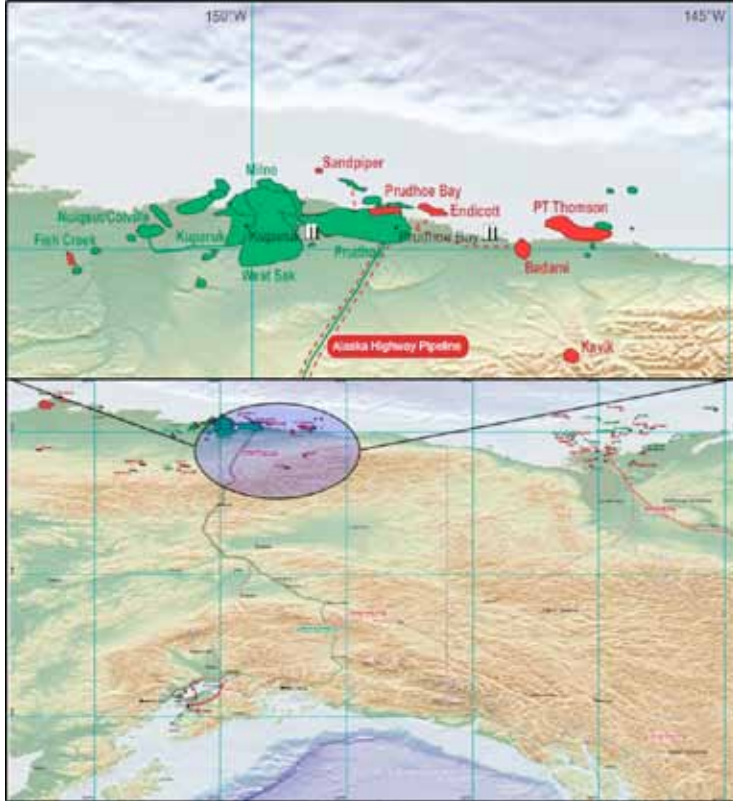


إدارة الشؤون الفنية، أوباك، 2018، بناء على بيانات مستخلصة من (OGJ، 2014)

2-4-1-1 مشروع حقن الغاز الهيدروكربوني القابل للامتزاج في حقل Prudhoe Bay

يقع حقل Prudhoe Bay على الشاطئ الشمالي في ألاسكا (الشكل- 10)^[31]، ويعتبر أحد أكبر حقول أمريكا الشمالية، وقد وضع على الإنتاج في عام 1977.

الشكل- 10: موقع حقل Prudhoe Bay



مستخلص من World Energy Atlas، 2013.

تبلغ سماكة التشكيلة المنتجة أكثر من 160 م، وتبلغ المسامية الوسطية في المكنن 22%، وتتراوح النفاذية فيه بين 100-500 ميلي دراسي، ويبلغ الإشباع الأولي بالماء 35%، ويحتوي على نطف متوسط (28 °API) لزوجته 0.8 سنتي بواز cp^[32].

كانت طاقة الدفع المائي في الحقل منخفضة جداً، وقد بينت دراسة (McGuire et al، 1995) [33] أن مشروع استخدام تقنية حقن الغاز الهيدروكربوني القابل للامتزاج في الحقل بدأ عام 1982، وبلغ معدل الحقن فيه نحو 17 مليون م³/ي، وترافق ذلك مع تقنية حقن الماء بالتبادل مع الغاز. وقد بلغ إنتاج الحقل في عام 1988 نحو 55 ألف ب/ي، منها 5000 ب/ي نتيجة تقنية حقن الغاز. يتوفر الغاز الهيدروكربوني عادة عند إنتاج النفط كغاز مرافق أو منحل في النفط، لكن إعادة حقنه في الطبقة قد تحتاج إلى إغناء هذا الغاز Enrich بمركبات هيدروكربونية أخرى تساهم في رفع قدرته على الامتزاج مع النفط ثانية، وفي حالة حقل Prudhoe Bay تم إغناء غاز الميثان CH₄ بغازي البروبان C₃H₈ والبيوتان C₄H₁₀.

وفي دراسة أخرى نشرت لاحقاً، تنبأ (Standing، 2000) [34] بأن الإنتاج الأعظمي للحقل سيكون 11.8 مليار برميل حيث سيبلغ إنتاجه 136 ألف ب/ي في عام 2010، وسوف يتوقف عن الإنتاج في عام 2018. لكن الواقع أن شركة BP التي تدير عمليات الحقل ذكرت في عام 2012 أن الاحتياطي الجيولوجي للحقل 24 مليار برميل، وأعلنت أن الحقل أنتج حتى ذلك العام 12 مليار برميل، وبلغ معدل إنتاجه 271 ألف ب/ي، إضافة إلى نحو 200 ألف م³/ي من الغاز [35].

كما احتقلت BP في شهر حزيران/يونيو 2017 بمرور 40 عاماً على إدارتها للحقل، وأكدت أنه أنتج حتى ذلك التاريخ 12.5 مليار برميل من النفط، (أي أن معامل الاستخلاص من الحقل زاد عن 50%) وبلغ معدل إنتاجه نحو 282 ألف ب م ن/ي [36]، مع أن الاحتياطي المؤكد عند اكتشاف الحقل كان 9.6 مليار برميل، لكن تقنية حقن الغاز القابل للامتزاج بالتناوب مع الماء أضافت أكثر من 3 مليار برميل لهذا الاحتياطي حتى عام 2017، ومع استمرار الإنتاج فمن المتوقع أن يرتفع معامل الاستخلاص أكثر.

2-1-4-2 حقن غاز النتروجين

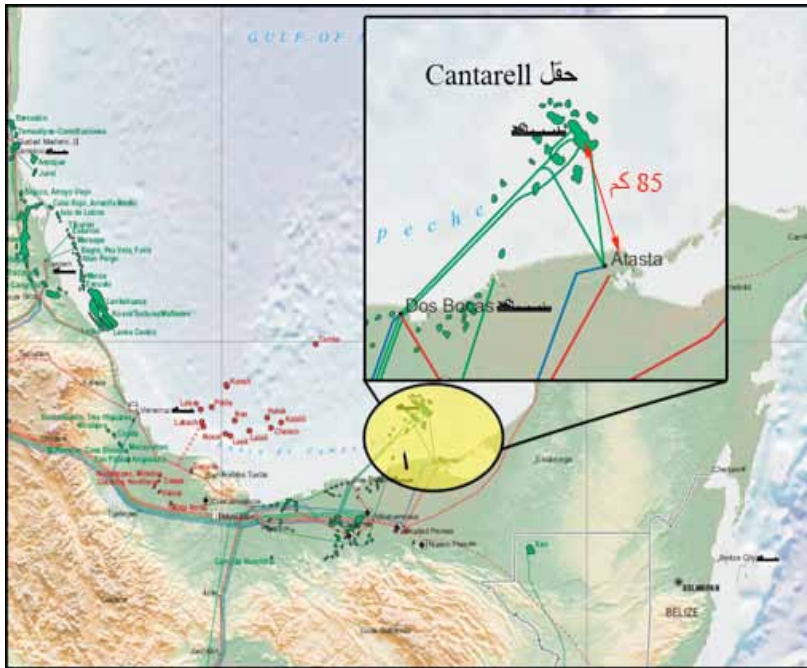
يحتاج غاز النتروجين إلى ضغط مرتفع نسبياً لينحل في النفط، كما يحتاج إلى معدات خاصة لفصل النتروجين من الهواء. وعند وجود الحقل في المغمورة تزداد الأمور تعقيداً لأسباب

لوجستية لا تخفى على العيان. وربما يكون حقل Cantarell في المكسيك(*) أحد أفضل الأمثلة لتوضيح جدوى استخدام هذه التقنية[37].

2-1-4-2 حقن غاز النتروجين في حقل Cantarell في المكسيك

اكتشف حقل Cantarell عام 1978 على بعد 85 كم من شواطئ المكسيك في مياه عمقها 45 م. قدر الاحتياطي الجيولوجي الأولي في الحقل بنحو 32 مليار برميل، ويزيد عمق التشكيلة المنتجة فيه عن 1500 م تحت سطح البحر. تتكون الصخور المنتجة في الحقل من الدولوميت، والمكمن متشقق غير متجانس الخواص Heterogenous تتراوح نفاذيته بين 1 ميلي دارسي إلى أكثر من 1 دارسي. مسامية المكمن منخفضة عموماً لا تزيد عن 8%. يبين الشكل- 11 موقع الحقل في خليج المكسيك[38].

الشكل- 11: موقع حقل Cantarell في خليج المكسيك



مستخلص من: World Energy Atlas، 2013

(*) ورد سابقاً في هذه الدراسة أن حقل Cantarell سيُخذ كمثال على الصعوبات التي تواجه عمليات الاستخلاص المحسن في المغنورة.

بدا الإنتاج التجاري من الحقل في عام 1979، وسرعان ما بلغ إنتاج الحقل 1 مليون باري في عام 1981 من النفط (19° - 22° API). في عام 1996 انخفض ضغط المكن إلى 124 بار نزولاً من الضغط الأولي للمكن الذي كان 259 بار، أي المكن فقد أكثر من 52% من ضغطه الأولي خلال 25 سنة من الإنتاج.

قامت شركة Pemex بإجراء العديد من الدراسات التي هدفت إلى الحفاظ على ضغط المكن أو محاولة زيادته، منها دراسة حقن غاز العوادم التوربينية المتوفرة في الحقول، أو حقن غاز ثاني أكسيد الكربون، وغيرها من التقنيات. ثم استقر الرأي على استخدام حقن النتروجين في القبة الغازية كونه مثل التقنية الأكثر اقتصادية حسب الدراسات التي أجريت. يبين الجدول- 5 كلفة الغازات المختلفة التي تمت دراستها، ويلاحظ أن كلفة غاز النتروجين تراوحت بين 8 آلاف دولار وبين ما يقارب 20 ألف دولار لكل مليون متر مكعب.

الجدول-5: كلفة الغاز المقترح حقنه في حقل Cantarell

نتروجين		ثاني أكسيد الكربون		الغاز الطبيعي		غاز العادم		دولار/مليون متر مكعب المتوسط
8,122	19,776	35,315	44,143	74,161	77,692	19,423	28,958	
13,949		39,729		75,927		24,191		

معدل^(*) عن Watts، 2015.

وربما كانت أهم المصاعب التي واجهت استخدام هذه التقنية هي كمية الغاز الكبيرة اللازمة للحقن، إذ برزت الحاجة إلى بناء وحدات قادرة على فصل النتروجين من الهواء بطاقة تزيد عن 10 آلاف طن/ي من النتروجين السائل. وقد تم بناء 4 وحدات فصل يمكن لكل منها إنتاج 8.5 مليون م³/ي من النتروجين، وتحتاج الوحدات مجتمعة إلى نحو 500 ألف حصان من القدرة (Horse Power). لذلك تم بناء 3 وحدات عاملة على الغاز لتوليد الكهرباء بطاقة 75 ميغا واط لكل منها. كما تمت إضافة وحدة فصل خامسة بنفس طاقة إنتاج النتروجين في عام 2004.

(*) الجدول الأساسي يتضمن الكثير من البيانات ومنها الكلفة بوحدة دولار/مليون قدم مكعب، ولا يتضمن القيم الوسطية.

وصل معدن حقن النتروجين في الحقل إلى 34 مليون م³/ي، وبلغ الحقل ذروة إنتاجه اليومي في عام 2004 حيث وصل معدل الإنتاج إلى أكثر من 2.1 مليون ب/ي يتم إنتاجها من 220 بئراً. وبالطبع لم يبق ذلك المعدل ثابتاً إذ تراجع بعد ظهور مشاكل في تشكل مخاريط الغاز والماء Gas and Water Coning، وحتى عام 2015 كان معدل إنتاج الحقل 400 ألف ب/ي، وتراجعت إلى 200 ألف ب/ي حتى منتصف عام 2017 [39]. لكن تقنية حقن النتروجين ساهمت في نقل 2.5-3 مليار برميل من الاحتياطي الجيولوجي إلى خانة الاحتياطي المؤكد القابل للإنتاج. عموماً كان حجم وحدات الفصل ووحدات توليد الكهرباء من أهم عوائق المشروع بسبب المساحة الكبيرة التي تتطلبها والتي لا تتوفر ضمن المنشآت السطحية الموجودة في المغمورة.

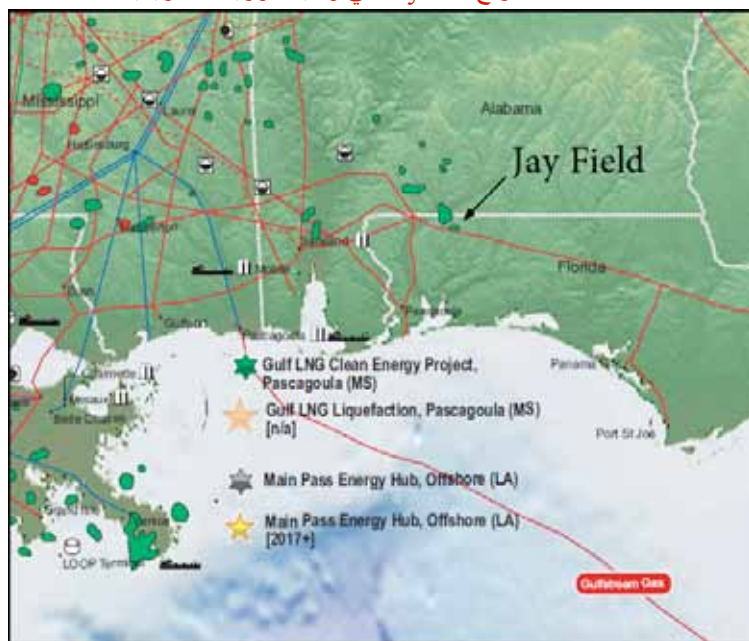
ويلاحظ من الجدول-5 السابق أن وسطي كلفة غاز النتروجين قارب 14 ألف دولار لكل مليون متر مكعب، ولما كان معدل الحقن قد بلغ 34 مليون م³/ي، فإن الكلفة الإجمالية الوسطية لغاز النتروجين المحقون تناهز 475 ألف دولار يومياً.

ورغم أن المبلغ يبدو مرتفعاً للوهلة الأولى، لكن عندما كان الحقل ينتج 2.1 مليون ب/ي فذلك يعني أن كلفة الغاز المحقون في حينها لم تزد عن 22 سنت/البرميل، إلا أن انخفاض الإنتاج إلى 200 ألف ب/ي عام 2017 جعل هذا الرقم يرتفع إلى أكثر من 2.3 دولار/البرميل على فرض أن تكلفة غاز النتروجين بقيت ثابتة ولم ترتفع بدورها.

2-2-1-4-2 حقن غاز النتروجين في حقل Jay في الولايات المتحدة الأمريكية

من الحقول الأخرى التي طبقت عليها تقنية حقن غاز النتروجين القابل للامتزاج، حقل Jay الواقع جنوب شرق الولايات المتحدة الأمريكية في ولاية فلوريدا قرب الحدود مع ولاية ألاباما. (الشكل-12).

الشكل- 12: موقع حقل Jay في ولاية فلوريدا الأمريكية



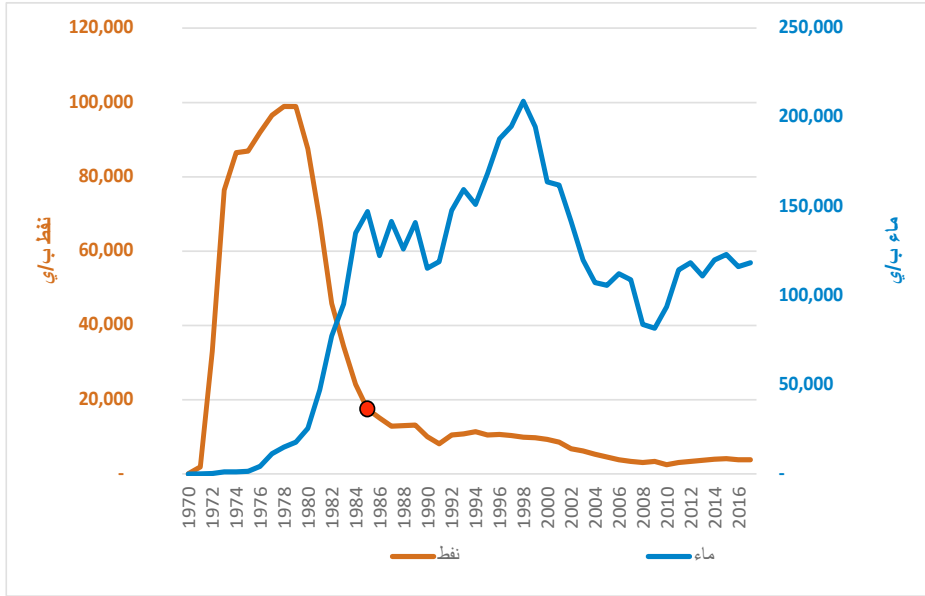
2013 ،World Energy Atlas

اكتشف الحقل عام 1970، ويبلغ طوله 11 كم وعرضه نحو 5 كم، تتوضع التشكيلة المنتجة فيه على عمق يتراوح بين 4600-4800 م، وتبلغ سماكتها الوسطية 107 م. ويعتبر من الحقول مرتفعة الضغط والحرارة، إذ يبلغ ضغط المكامن الأولي 540 بار، وحرارته 141° مئوية. قدر الاحتياطي الجيولوجي في الحقل بنحو 830 مليون برميل.

استخدمت في الحقل تقنية الإفاضة بالماء في عام 1974، وبلغ إنتاج الحقل ذروته في أواخر السبعينات بنحو 100 ألف ب/ي، ثم تراجع بعد ذلك بسرعة. في عام 1981 بدأ حقن غاز النروجين في الحقل بالتبادل مع الماء، وقد أنتج حتى شهر حزيران/يونيو 2017 حوالي 432 مليون برميل من النفط (معامل الاستخلاص 52%). **الشكل- 13** معدل إنتاج الحقل^[40] حتى منتصف عام 2017^(*)، وقد بلغ عدد الآبار المنتجة في الحقل 39 بئراً، وبلغ عدد آبار الحقن 25 بئراً.

(*) التقرير السنوي لإدارة حماية البيئة في فلوريدا عن عام 2016 يحتوي على بيانات الحقل حتى عام 2016. تم أخذ بيانات 2017 من متوسط التقارير الشهرية للإدارة.

الشكل- 13: معدل الإنتاج اليومي في حقل Jay الأمريكي



إدارة الشؤون الفنية، أوايك، 2018. بناءً على بيانات: Florida Department of Environmental Protection، لعدة سنوات.

يلاحظ من المخطط في الشكل- 12 أن نسبة الإماهة بدأت بالارتفاع بشكل سريع مع ارتفاع معدل إنتاج النفط، وقد بلغت في عام 2017 حوالي 97%. كما يلاحظ أن هناك تراجعاً واضحاً في الإنتاج عام 2008، ومع أن وكالة حماية البيئة في فلوريدا لا تقدم مبرراً لهذا التراجع، إلا أنه على الأغلب كان صدى للأزمة الاقتصادية التي ضربت العالم ذلك العام، وما تبعها من تراجع عمليات الإنتاج وتسريح للعمال*).

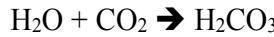
أما على صعيد الاستخلاص المحسن، فيمكن من خلال المخطط ملاحظة أنه ومنذ عام 1985 أي بعد 4 سنوات من بدأ حقن النروجين بالتبادل مع الماء، تقلص معدل تراجع الإنتاج، بل ارتفع الإنتاج قليلاً في عام 1989. ويشار هنا إلى أن شركة ExxonMobil التي كانت تدير عمليات الحقل، توقعت في منتصف الثمانينات أن معدل إنتاج الحقل في عام 2000 لن يتجاوز

(*) بيانات وكالة حماية البيئة في فلوريدا عن عام 2009 تضمنت نقطة شاذة أظهرت الإنتاج على أنه 34 ب/ي فقط. وهذا مستحيل في ظل وجود 32 بئرأ منتجاً في تلك السنة، مما يعني أن الرقم أدرج بشكل خاطئ في التقارير، والصواب هو 3400 ب/ي.

2000 ب/ي في أحسن الأحوال (Langston، 1985) [41]. لكن يلاحظ من المخطط أن معدل الإنتاج عام 2000 كان حوالي 9300 ب/ي، وحتى منتصف عام 2017 كان معدل الإنتاج 3738 ب/ي. وعموماً ساهم الاستخلاص المحسن للنفط في هذا الحقل في رفع معامل الاستخلاص بنحو 7%، أي أنه نقل حوالي 58 مليون برميل من خزانة الاحتياطي الجيولوجي إلى خزانة الاحتياطي القابل للإنتاج.

2-4-1-3 حقن غاز ثاني أكسيد الكربون

يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون من الغازات التي يمكن أن تتحلل في النفط عند درجات حرارة وضغوط منخفضة نسبياً، لكن العائق الأساسي يتمثل في توفير الكميات اللازمة من هذا الغاز، مما جعل المشاريع الأولى في هذا المجال مرتبطة بوجود مصادر طبيعية لغاز ثاني أكسيد الكربون. كما أن هذا الغاز يتسبب بظهور مشكلة التآكل فتفاعله مع الماء ينتج حمض الكربونيك:



ومع أنه من الحموض الضعيفة إلا أنه يساهم في عملية التآكل، مما يستلزم الحذر عند تصميم البئر وخطوط النقل وخطوط الجريان وغيرها من التسهيلات، ولابد من الحرص على فصل غاز ثاني أكسيد الكربون من النفط المنتج. وترافق الاهتمام بحقن غاز ثاني أكسيد الكربون مع المنظور العالمي الذي يعتبر هذا الغاز من مسببات ظاهرة الدفان (الاحترار) العالمي، حيث تداعت الكثير من الجهات إلى اصطياده Capture والاستفادة منه في الاستخلاص المحسن للنفط. ظهرت تقنية حقن غاز ثاني أكسيد الكربون للمرة الأولى في الثلاثينات من القرن الماضي، وأجريت العديد من التجارب الحقلية عليها خلال الخمسينات [42]، واستمرت التطويرات المتلاحقة عليها بالنمو، حيث ظهرت عدة مقترحات لإيجاد معايير لاستخدامها ومنها المعايير التي اقترحها (Thomas، 1998) [43] والتي تستند إلى خصائص السلوك الطوري للموائع في المكمن، والتوتر السطحي بين الغاز والنفط، وفعالية الجريان ضمن المسامات خلال الحقن، وحجم هذه المسامات، وقابلية التبلل في الصخر، والكثافة النسبية في المكمن.

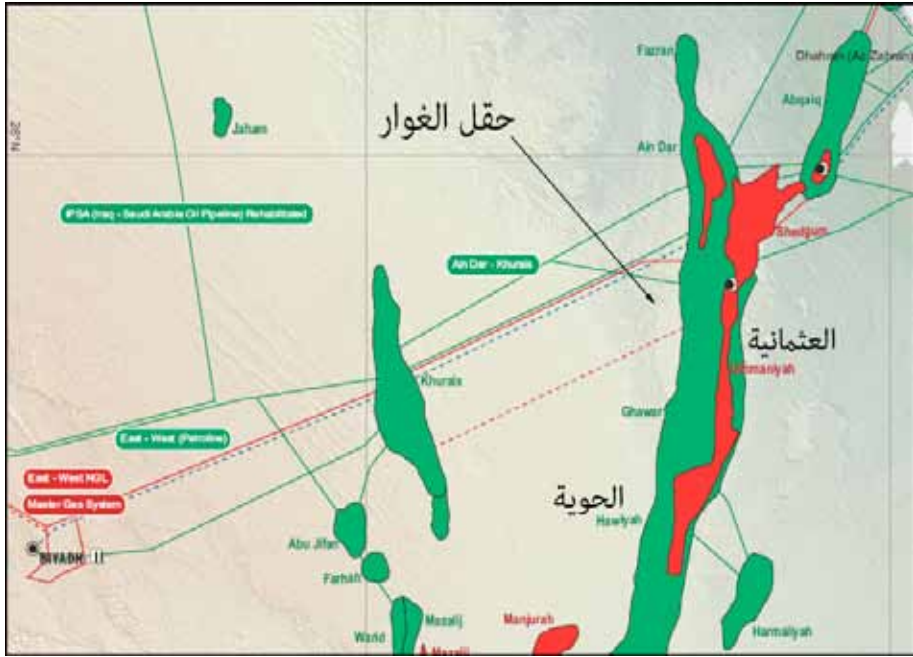
وبينت دراسة (Sehbi et al، 2001) [44] أن فعالية الإزاحة المجهرية لحقن غاز ثاني أكسيد الكربون ترتبط بمعدلات الحقن المنخفضة للغاز، والاستمرار في عملية الحقن لفترة طويلة.

حول هذا النوع من التقنيات، أجريت دراسة طموحة (Ning، 2015) [45] شارك فيها باحثون من أكاديمية العلوم الصينية، ومخبر Pacific Northwest الأمريكي، ومعهد أبحاث الحفر في مؤسسة البترول الوطنية الصينية CNPC. عملت الدراسة على استخدام طريقة تقييم فنية اقتصادية تتضمن نموذج فعالية وكفاءة من جهة ونموذجاً مالياً لمشاريع حقن غاز ثاني أكسيد الكربون من جهة أخرى. وجرى تطبيق النموذجين على 296 حقلاً صينياً على اليابسة شكلت 70% من الحقول الصينية الناضجة، وخلصت الدراسة إلى أن استخدام هذه التقنية يمكن أن يساهم في إضافة 1.1 مليار طن (7.7 مليار برميل) إلى الاحتياطيات الصينية ضمن الشروط السائدة في وقت الدراسة، إذ بين النموذج الذي تم استخدامه أن الإنتاج التراكمي من النفط إضافة إلى كميات التخزين المتوقعة من غاز ثاني أكسيد الكربون حساسة بالنسبة لأسعار النفط، وكلفة الغاز، وعمر المشروع، ومعدلات الفائدة، والسياسات الضريبية. كما أشارت الدراسة إلى أن نجاح تطبيق هذا النوع من التقنية في الصين يمكن أن ترتفع جدواه الاقتصادية في حال توفر الحوافز الحكومية لاصطياد غاز ثاني أكسيد الكربون.

2-4-1-3-1 حقن غاز ثاني أكسيد الكربون، أرامكو السعودية

من المشاريع العربية في هذا المجال يمكن الإشارة إلى المشروع الذي أطلقته شركة أرامكو السعودية عام 2015 وذلك في مرافقها لسوائل الغاز الطبيعي في حقل العثمانية ومنتجآت الحوية (الشكل- 14)، وهو أول مشروع في المملكة العربية السعودية لفصل غاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه، كما أنه مشروع استخلاص محسن للنفط باستخدام غاز ثاني أكسيد الكربون.

الشكل- 14: موقع حقل العثمانية والحوية



World Energy Atlas، 2013

يعتبر هذا المشروع الأكبر من نوعه على مستوى الشرق الأوسط، ويتضمن أربعة آبار حقن، وأربعة آبار إنتاج، وبئرين للمراقبة. قدرت أرامكو أن نحو 40% من غاز ثاني أكسيد الكربون المحقون سيحتجز بشكل دائم في المكمن.

تتضمن خطة المشروع حقن أكثر من 1 مليون م³/ي من الغاز (40 مليون قدم³/ي) وهي كمية سوف يتم استخلاصها ومعالجتها في معمل استخلاص سوائل الغاز الطبيعي في الحوية، ثم يتم نقلها لمسافة 85 كم باستخدام خطوط الأنابيب إلى حقل العثمانية (Saudi Aramco، [46] 2015). يذكر أن حقل العثمانية يشكل جزءاً من حقل غوار العملاق، الذي اكتشف عام 1948 وتم وضعه على الإنتاج في مطلع الخمسينات من القرن الماضي. ويعتبر "شمال العثمانية" أكثر الأجزاء نضوجاً Mature في حقل الغوار (Al-Mutairi and Al-Harbi، 2006) [47]. ولا تتوفر بيانات عن نتائج تطبيق هذه التقنية بعد على حقل العثمانية، وهذا ليس بالمستغرب فنتائج هذا النوع من التقنيات تحتاج لوقت طويل حتى تبدأ بالظهور.

من جهة ثانية ذكرت دراسة (Alhashboul et al، 2017) [48] أن الهدف الرئيسي لهذا المشروع في المملكة ليس عملية الاستخلاص بحد ذاتها في هذه المرحلة، لكن الهدف هو استعراض مدى الجدوى الاقتصادية من استخدام تقنية تخزين (حقن) ثاني أكسيد الكربون كجزء من عملية الاستخلاص المحسن للنفط.

2-3-1-4-2 حقن غاز ثاني أكسيد الكربون في حقل Bati Raman، تركيا

من الأمثلة الأخرى على استخدام هذه التقنية، يمكن الإشارة إلى التجربة الطويلة في هذا المجال في حقل Bati Raman في تركيا، والتي تستحق النظر فيها بشيء من التفصيل لما تضمنته من عمليات وتجارب مختلفة على الحقل [49].

اكتشف هذا الحقل عام 1961 جنوب شرق تركيا، وقدر الاحتياطي الجيولوجي فيه بنحو 1.85 مليار برميل من النفط الثقيل (12°API) ويتميز النفط في الحقل بلزوجة مرتفعة (450-1000 سنتي بواز)، ومحتوى منخفض من الغاز المنحل. ينتج الحقل من تشكيلة Garzan الكربونايتية التي تتميز بعدم تماثل الخواص أفقياً وعمودياً، تبلغ المسامية الوسطية في الحقل نحو 18%، وتتراوح نفاذية المكمن بين 10-100 ميلي دارسي. وقد قدر معامل الاستخلاص الأولي في الحقل بأقل من 2%، أي أن الاحتياطي القابل للإنتاج لا يتجاوز 37 مليون برميل.

أنتج المكمن بطاقة الدفع الطبيعية بين عامي 1961-1986، وخلال تلك الفترة تراجع ضغط المكمن من 124 بار، إلى 27.5 بار، وانخفض معدل إنتاجه من 9000 ب/ي إلى 1600 ب/ي، وهذا ما قاد إلى إجراء العديد من التجارب المخبرية والحقلية في محاولة لمعرفة التقنية الأمثل التي يمكن تطبيقها على الحقل، حيث جرى اختبار تقنية الإفازة بالمياه إذ حقن في مركز الحقل 3.2 مليون برميل من الماء بين عامي 1971 و 1978، ومع أن معدل الإنتاج ارتفع نتيجة عمليات الحقن، إلا أن الدراسات بينت أن معامل الاستخلاص لن يرتفع إلى أكثر من 5%. وعند دراسة إمكانية حقن البخار، تبين أن معامل الاستخلاص يمكن أن يرتفع إلى 34% خلال ثماني سنوات ونصف. رغم ذلك كان حقن ثاني أكسيد الكربون غير القابل للامتزاج أكثر جاذبية بسبب وجود حقل Dodan القريب الذي يحتوي على قراب 7 مليار من احتياطيات غاز ثاني أكسيد الكربون، وبسبب التكاليف الأقل نسبياً من تكاليف حقن البخار.

بدأ مشروع تدوير غاز ثاني أكسيد الكربون في الحقل عام 1986 على مساحة ناهزت 4.8 كم مربع تحتوي على 33 بئراً، وفي عام 1988 تم الانتقال إلى تقنية الإفاضة بالغاز، وجرى لاحقاً تعميم التقنية على كامل مساحة الحقل. وفي عام 1993 وصل معدل الإنتاج إلى 13 ألف ب/ي، فيما كان الحقل سينتج 1600 ب/ي فقط بدون الإفاضة بالغاز. لكن معدل الإنتاج تراجع ثانية ووصل في عام 1995 إلى 5500 ب/ي مما استدعى حقن هلام البوليمير كنوع من المعالجة لزيادة فعالية الكسح والحد من التراجع، وترافق ذلك مع حفر آبار أفقية ومتعددة الجذوع على نطاق تجريبي للوصول إلى النفط الذي لم تتم إزاحته بالغاز. وحتى عام 2007 كان معدل إنتاج الحقل 7000 ب/ي. وقدر معامل الاستخلاص حتى ذلك التاريخ بنحو 5% حيث أنتج الحقل 94 مليون برميل. أي أن تقنيات الاستخلاص المحسن ساهمت في مضاعفة معامل الاستخلاص الذي كان مقدراً بنحو 2% كما ذكر في بداية المثال. وبلغت كميات غاز ثاني أكسيد الكربون المحقونة حتى مطلع عام 2007 حوالي 7.7 مليار متر مكعب، وأنتج منها ثانية مع النفط أكثر من 5.5 مليار متر مكعب.

تمثلت إحدى عوائق المشروع بأن غاز ثاني أكسيد الكربون في حقل Dodan يحتوي أيضاً على نسبة مرتفعة من كبريتيد الهيدروجين (ثاني أكسيد الكبريت) H_2S ، لذلك تضمن تصميم المشروع محطة Selexol التي تعمل على نزع هذا الغاز قبل حقن ثاني أكسيد الكربون في حقل Bati، بحيث لا تزيد نسبته عن 50 جزءاً بالمليون (ppm) ويتم أيضاً في المحطة تخفيف غاز ثاني أكسيد الكربون إلى معدل 16 غ ماء/1000 م مكعب من الغاز. رغم ذلك واجهت عمليات الحقن عدة حالات انسدت خلالها خطوط الحقن ومواسير الإنتاج بالجليد عندما كان ضغط الحقن منخفضاً. ولما كانت معظم الآبار تنتج باستخدام المضخات المكبسية، فإن وجود الغاز في النفط المنتج أدى إلى تخفيض كفاءة عمل هذه المضخات، فجرى في بعض الحالات استبدالها بمضخات إزاحة لا مركزية (Progressive Cavity Pump) مما حسن شيئاً ما من فعالية الإنتاج.

2-4-1-4 حقن الماء بالتبادل مع الغاز WAG

تم تطوير هذه التقنية للحد من مخاطر تقنية حقن الغاز، وتعتبر عملياً من بين التقنيات الأكثر تطبيقاً والأكثر نجاحاً في حقول بحر الشمال حيث شكلت 48% من مجموع المشاريع العاملة على الاستخلاص المحسن للنفط في عام 2005 إذ استخدمت في 9 من أصل 19 مشروعاً تطبق فيها تقنيات أخرى (Awann & Kleep، 2006) [50]. تشمل هذه الطريقة حقن دفعات من الماء متبوعة بحقن الغاز، وقد يتم حقن الماء والغاز معاً فيطلق عليها عندها اسم SWAG (Simultaneous Water Alternating Gas).

كما ينظر إلى كون الغاز المحقون قابلاً أو غير قابل للامتزاج فتسمى التقنية حينها باسم الغاز بشكل متجانس، فإن تقنية IWAG (Immiscible Water Alternating Gas)، فإذا كانت تقنية WAG تستخدم لدفع جبهة من فعالية الكسح وفعالية الإزاحة معاً (Holtz، 2016) [51].

يساهم حقن الماء في تخفيض كمية الغاز اللازمة للحفاظ على ضغط المكنن، كما يساهم من الناحية النظرية في تخفيض ميل الغاز لتشكل أصابع Fingering أو أفنية عبر النفط كون الماء المتحرك ضمن أفنية الصخر يخفض من النفاذية الفعالة للغاز. وهو يساهم أيضاً في رفع كفاءة الكسح العمودي Vertical Sweep Efficiency كون كثافة الماء أعلى من كثافة النفط. رغم ذلك فإن العديد من الشركات التي طبقت هذه التقنية حصلت على معامل استخلاص أقل من المتوقع بسبب تشكل أفنية الغاز وانخفاض الإزاحة الميكروسكوبية، وهذا النوع من العوائق مرتبط عادة بعدم تجانس المكنن. يضاف إلى ذلك المشاكل التشغيلية مثل انخفاض قابلية الحقن بسبب انخفاض قابلية الموائع على الحركة قرب البئر نتيجة تغير النفاذية النسبية، وضرورة المراقبة الدائمة لأنظمة الحقن.

استخدمت تقنية حقن الماء بالتبادل مع الغاز لأول مرة في حقول North Pembina في كندا، ضمن مشروع تجريبي بدأ عام 1957، ومنذ ذلك الوقت انتشر استخدامها في عدد كبير من الحقول، إذ طبقت هذه التقنية على مستوى محدود على نحو 150 حقلاً في الولايات المتحدة خلال عقد الستينات من القرن الماضي (Merchant، 2017) [52].

وعملت دراسة (Christensen وآخرون، 1998) [53] على تتبع بيانات 59 مشروعاً استخدمت هذه التقنية بين عامي 1957 و1996، مرتبة في الجدول-6 حسب تاريخ البدء بها. وبالرغم من أن بيانات الجدول تسجل المشاريع حتى عام 1996 فقط، لكنها تعطي عدة مؤشرات يمكن تلخيصها فيما يلي:

- 1- شهد عقد الثمانينات بداية 30 مشروعاً لحقن الماء بالتبادل مع الغاز، بينما كان عدد المشاريع 10 فقط خلال الستينات و11 مشروعاً خلال السبعينات.
- 2- من مجموع 59 مشروعاً، هناك 10 مشاريع فقط استخدمت فيها تقنية حقن الماء بالتبادل مع الغاز غير المنحل، أما بقية المشاريع فكانت باستخدام حقن الماء بالتبادل مع الغاز المنحل.
- 3- أكثر من نصف الحقول (57%) التي طبقت فيها هذه التقنية تنتج من مكامن رملية، والبقية كانت كربونائية، كلسية أو دولوميتية.
- 4- استخدم غاز ثاني أكسيد الكربون في 29 مشروعاً، منها مشروع استخدم فيه مع غاز النتروجين. واستخدم الغاز الهيدروكربوني في 19 مشروعاً أحدها مع غاز النتروجين. واستخدم غاز البروبان في ثلاثة مشاريع، واستخدم غاز البترول المسال LPG وسوائل الغاز الطبيعي والغاز العادم والغاز المعاد إشباعه وغاز النتروجين في مشروع واحد لكل منها. بينما لم تتوفر بيانات منشورة عن نوع الغاز المستخدم في حقن روسيين في عامي 1959 و1960.

الجدول-6: بعض مشاريع حقن الماء بالتبادل مع الغاز في العالم

بدء المشروع	اسم الحقل	مكان المشروع	نوع الغاز	قابلة الامتزاج	التشكيلة المنتجة
1957	North Pembina	Alberta, Canada	HC	Misc.	رملية
1959	Romashkinskoye	Minnebaevsky Unit, Russia			
1960	University Block 9	Texas	LPG	Misc.	كلسية
1960	Midlands Farm	Texas	propane	Misc.	كلسية
1960	Juravlevsko-Stepanovskoye	Orenburg, Russia		Immisc.	كربونائية
1961	South Ward	Texas	propane	Misc.	رملية
1962	Adena	Colorado	propane	Misc.	رملية
1964	Hassi-Messaoud	Algeria	HC	Misc.	

التشكيلة المنتجة	قابلة الامتزاج	نوع الغاز	مكان المشروع	اسم الحقل	بدء المشروع	
رملية		CO ₂	Texas	Mead Strawn	1964	9
كلسية	Misc.	HC	Texas	Fairway	1966	10
رملية	Misc.	HC	Chichen-Inguish, Russia	Ozek-Suat	1968	11
رملية	Misc.	HC	Chichen-Inguish, Russia	Goyt-kort	1970	12
كربوناتية	Misc.	CO ₂	Texas	Kelly Snyder	1972	13
كلسية	Misc.	CO ₂	Texas	Levelland	1972	14
دولوميت	Misc.	CO ₂	Texas	Willard (Wasson)	1972	15
كربوناتية، كالكريت	Misc.	NGL	Alberta, Canada	South Swan	1973	16
رملية	Misc.	CO ₂	West Virginia	Rock Creek	1976	17
رملية	Immisc.	CO ₂	Arkansas	Lick Creek	1976	18
رملية	Misc.	CO ₂	West Virginia	Granny's Creek	1976	19
دولوميت	Misc.	CO ₂	Texas	Slaughter Estate (SEU)	1976	20
رملية	Misc.	HC/N ₂	Alberta, Canada	Willesden Green	1977	21
رملية	Misc.	CO ₂	Oklahoma	Garber	1980	22
رملية	Misc.	CO ₂	Oklahoma	Purdy Springer NE	1980	23
دولوميت	Misc.	CO ₂	New Mexico	Maljamar	1981	24
دولوميت، كربوناتية	Misc.	N ₂	northwest Florida	Jay Little Escambia	1981	25
كربوناتية	Misc.	CO ₂	North Dakota	Little Knife	1981	26
رملية	Misc.	CO ₂	Louisiana	Quarantine Bay	1981	27
رملية		غاز العادم	Texas	Twofreds (Delaware)	1981	28
رملية	Immisc.	CO ₂ N ₂	California	Wilmington	1982	29
رملية	Misc.	CO ₂	Alberta, Canada	Joffre Viking	1983	30
دولوميت	Misc.	CO ₂	SESSAU, Texas	San Andres	1983	31
دولوميت	Misc.	CO ₂	Texas	Wasson Denver	1983	32
دولوميت	Misc.	HC	Alberta, Canada	Fenn Big Valley	1983	33
رملية	Misc.	غاز مشيع	Alaska	Prudhoe Bay	1982-83	34
رملية	Immisc.	CO ₂	Siberia, Russia	Samotlor	1984	35
رملية	Misc.		Alberta, Canada	Caroline	1984	36
رملية	Immisc.	HC	Alaska	Kuparuk River	1985	37
رملية	Misc.	HC	Alaska	Kuparuk River	1985	38
كلسية	Misc.	HC	Alberta, Canada	Judy Creek	1985	39
رملية	Misc.	HC	Alberta, Canada	Mitsue	1985	40
دولوميت	Misc.	CO ₂	New Mexico	East Vacuum	1985	41
	Misc.	CO ₂	Texas	Dollarhide	1985	42

التشكيلة المنتجة	قابلة الامتزاج	نوع الغاز	مكان المشروع	اسم الحقل	بدء المشروع	
رملية	Misc.	CO ₂	Colorado	Rangely Weber	1986	43
دولوميت	Misc.	CO ₂	Texas	Hanford	1986	44
دولوميت	Misc.	CO ₂	Texas	S. Wasson Clearfork	1986	45
رملية	Misc.	CO ₂	Rocky Mountain	Wertz Tensleep	1986	46
كربونائية	Misc.	HC	Alberta, Canada	Kaybob North	1988	47
دولوميت، رملية	Misc.	CO ₂	Texas	N. Ward Estes	1989	48
رملية	Misc.	CO ₂	Wyoming	Lost Soldier Field	1989	49
رملية	Immisc.	HC	Norway, North Sea	Gulfaks	1989	50
رملية	Immisc.	HC	China	Daqing	1989	51
رملية	Misc.	CO ₂	Texas	Neches	1993	52
رملية	Misc.	HC	Norway, North Sea	Snorre	1994	53
رملية	Immisc.	HC	Norway, North Sea	Brage	1994	54
دولوميت	Misc.	CO ₂	Texas	Slaughter Sundown (SSU)	1994	55
رملية	Misc.	HC	U.K.	Brae South	1994	56
رملية	Misc.	HC	Norway, North Sea	Statfjord	1994	57
رملية	Immisc.	CO ₂	Illinois	Mattoon	1995	58
كربونائية	Immisc.	HC	Norway, North Sea	Ekofisk	1996	59

المصدر: Christensen وآخرون، 1998.

علاوة على ما ذكر، تشير الدراسة إلى أن أغلب المشاريع سجلت ارتفاع معامل الاستخلاص بنحو 5-10%، كما شهدت بعض المشاريع ارتفاع معامل الاستخلاص بنحو 20% مثل حقلي Dollarhide و Slaughter Estate في تكساس، وحقل Rangely Weber في كولورادو. وقد طبقت معظم تلك المشاريع كتقنية إنتاج ثالثة ما عدا بعض المشاريع في بحر الشمال التي استخدمت فيها تقنية حقن الماء بالتبادل مع الغاز في مرحلة مبكرة من عمر الحقل. وتشير الدراسة إلى أن 88% من هذه المشاريع (52 مشروعاً) نفذت في حقول على اليابسة، مقابل 12% من المشاريع (7 مشاريع) التي نفذت في المغمورة.

وبالرغم من أن هذا ربما يكون تأكيداً على ما ذكر آنفاً من صعوبة تنفيذ مشاريع الاستخلاص المحسن للنفط في المغمورة، إلا أن القوانين الناظمة لعمل الصناعة البترولية في بعض الدول كانت السبب وراء عدد من هذه المشاريع، إذ يلاحظ من الجدول السابق أن هناك

5 مشاريع لحقن الغازات الهيدروكربونية في النرويج، في حقل Gullfaks، وحقل Snorre، وحقل Brage، وحقل Statfjord، وحقل Ekofisk، وهي كلها حقول تقع في المغمورة^(*). وفي هذا المقام تشير إدارة البترول النرويجية (NPD Norwegian Petroleum Directorate) [54] إلى أن حقن الغاز الهيدروكربوني في الحقول النرويجية بدأ منذ عام 1975، وتذكر الإدارة أن حقن الغاز بدأ لسببين:

- 1- عدم وجود خطوط أنابيب خاصة لنقل الغاز المنتج من الحقول.
 - 2- يمنع حرق الغاز الروتيني على الشعلة في الحقول النرويجية.
- وقد ساهمت عمليات حقن الغاز حتى عام 2014 في إنتاج 2- 2.3 مليار برميل إضافي من النفط.

2-4-1-4-1 حقن الماء بالتبادل مع الغاز الهيدروكربوني في حقل Ekofisk، النرويج

اكتشف حقل Ekofisk عام 1969 في القسم النرويجي من بحر الشمال في مياه يتراوح عمقها بين 70- 75 م. وضع الحقل على الإنتاج عام 1971، وهو ينتج من تشكيلات كربونانية متشققية عالية المسامية بينما لا تزيد نفاذيتها عن 1 ميلي دراسي. يقدر الاحتياطي الجيولوجي في الحقل بأكثر من 7 مليار برميل^(†)، أما الاحتياطي القابل للإنتاج فقد قدر بنحو 1.2 مليار برميل أي أن معامل الاستخلاص قدر بحوالي 17% فقط [55].

وقد بدأت أولى عمليات حقن الغاز الهيدروكربوني في حقل Ekofisk الذي يعتبر أكبر حقول النرويج في عام 1975 واستمرت حتى عام 1997. كان الهدف الرئيسي وراء عمليات الحقن تخزين نحو 25% من كميات الغاز المنتج بسبب مشاكل تشغيلية ظهرت أثناء بناء خط أنابيب تصدير الغاز إلى ألمانيا، كما أن الطلب على الغاز كان ينخفض بشكل موسمي خاصة خلال أشهر الصيف. ثم تبين خلال عمليات المحاكاة الأتنية (Simultaneous Simulation) التي كانت تجرى على الحقل أن حقن الغاز ربما ساهم في رفع معدل الإنتاج.

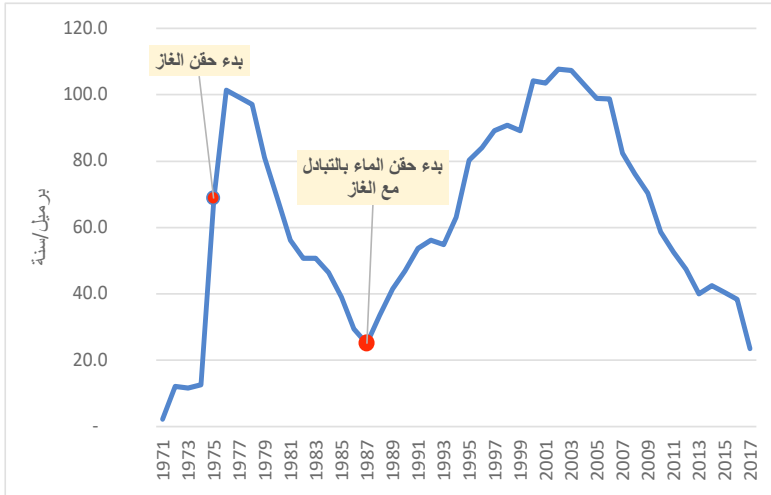
(*) كل حقول النرويج المعروفة تقع في المغمورة.

(†) تنشر النرويج بياناتها بوحدة المتر المكعب الذي يساوي 6.3 برميل تقريباً حسب مواصفات النفط النرويجي.

وقد بدأت عمليات حقن الماء بالتبادل مع الغاز في الحقل منذ عام 1987 وحتى اليوم، وترى إدارة البترول النرويجية أن تلك العمليات مترافقة مع انضغاط الصخر (Compaction) ساهمت في رفع معامل الاستخلاص إلى 50% حيث يقدر الاحتياطي القابل للإنتاج حالياً بحوالي 3.4 مليار برميل.

يبين الشكل- 15 الإنتاج السنوي لحقل Ekofisk حيث يوضح متى بدأت عمليات حقن الغاز في الحقل والتي لا يبدو أن لها تأثيراً واضحاً إذ أن ارتفاع معدلات الإنتاج الذي يظهر في المخطط راجع إلى عمليات الحفر التطويري التي كانت تجرى على الحقل. بينما يظهر بوضوح تأثير حقن الماء بالتبادل مع الغاز، حيث ارتفع الإنتاج بالتدريج من 25 مليون برميل عام 1987 ليصل إلى أكثر من 107 مليون برميل عام 2002، ثم عاد إلى التراجع الطبيعي ثانية. وقد أنتج الحقل حتى نهاية شهر أيلول/ سبتمبر 2017 نحو 23.6 مليون برميل، بمعدل زاد عن 96 ألف ب/ي. وبلغ الإنتاج التراكمي للحقل 2.93 مليار برميل، بينما ذكر أنفاً أن الاحتياطي القابل للإنتاج قبل حقن الماء بالتبادل مع الغاز كان مقدراً بأن لا يزيد عن 1.2 مليار برميل.

الشكل- 15: معدل الإنتاج السنوي لحقل Ekofisk النرويجي



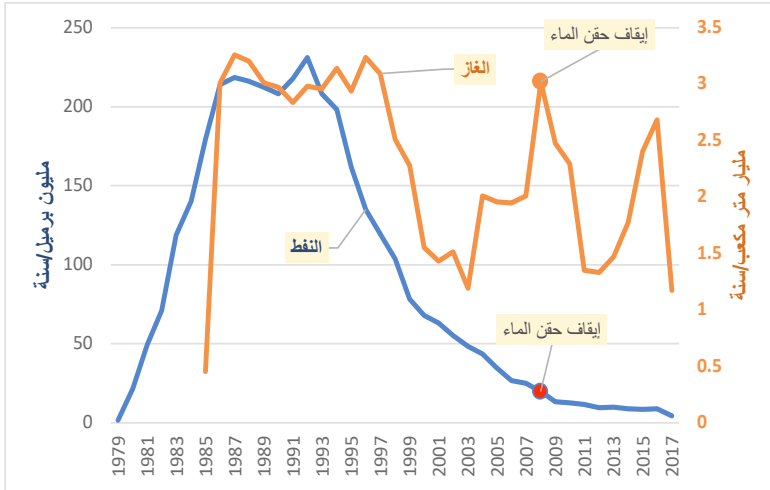
إدارة الشؤون الفنية، أو أوك. بناء على بيانات NPD، 2017.
- بيانات عام 2017 عن تسعة أشهر فقط.

2-4-1-4-2 حقن الماء بالتبادل مع الغاز الهيدروكربوني في حقل Statfjord، النرويج

رغم أن هذا المثال عن حقل Statfjord أيضاً من النرويج، إلا أن الفرق بينه وبين المثال السابق أن عمليات حقن الماء بالتبادل مع الغاز بدأت مع بدء الإنتاج من الحقل، بينما بدأت في Ekofisk بعد 16 عاماً من بدء الإنتاج.

يقع حقل Statfjord في بحر الشمال على الحدود الدولية بين النرويج وبريطانيا، اكتشف الحقل عام 1974، في مياه عمقها 150 م. يتراوح عمق المكن في الحقل بين 2500-3000 م، ويتكون من صخور جوراسية رملية ذات مواصفات خزنية ممتازة^[56]. وضع الحقل على الإنتاج عام 1979 دون توفر خطوط أنابيب لنقل الغاز، فجرى إعادة حقن الغاز المنتج في تشكيلة Statfjord وهي ثاني أكبر تشكيلة منتجة في الحقل. كما تم بالتوازي مع ذلك حقن الغاز بالتبادل مع الماء في تشكيلة Brent التي تعتبر التشكيلة المنتجة الأكبر في الحقل. ويوضح الشكل- 16 تزايد معدلات الإنتاج السنوي للحقل التي وصلت إلى ذروتها عام 1992 حين أنتج الحقل 231 مليون برميل (بمعدل 633 ألف ب/ي) ثم بدأ التراجع الطبيعي في معدلات الإنتاج.

الشكل- 16: معدل الإنتاج السنوي، حقل Statfjord، النرويج



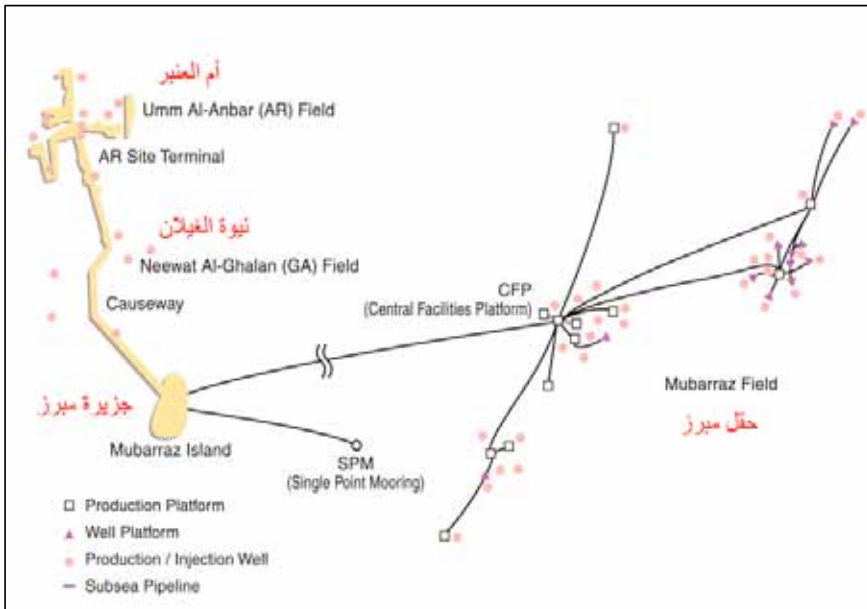
إدارة الشؤون الفنية، أوابك. بناء على بيانات NPD، 2017.
- بيانات عام 2017 عن تسعة أشهر فقط

وقد استمرت عمليات الحقن حتى عام 2008 حين تراجع معدل الإنتاج اليومي إلى نحو 54 ألف ب/ي، فتقرر إيقاف كل عمليات الحقن والسماح بانفصال الغاز عن النفط المتبقي في الحقل. قدر الاحتياطي الجيولوجي في حقل Stafford نحو 5.4 مليار برميل، وبلغ إنتاجه التراكمي حتى أواخر عام 2017 ما يقارب 3.6 مليار برميل. أي أن معامل الاستخلاص بلغ أكثر من 66%، وهو رقم يعد مرتفعاً خاصة وأنه من المتوقع أن يرتفع أكثر إذ أن الحقل لا يزال ينتج، وقد بلغ متوسط إنتاجه اليومي حتى شهر أيلول/سبتمبر 2017 حوالي 18 ألف ب/ي. وكون احتياطي النفط المتبقي القابل للإنتاج يبلغ نحو 36.9 مليون برميل، فيمكن أن يصل معامل الاستخلاص الأعظمي للحقل إلى 67.9%.

2-4-1-4 حقن الغاز في حقلي أم العنبر، ونيوة الغلان، الإمارات العربية المتحدة

يقع حقلا "أم العنبر" و"نيوة الغلان" في الجزء الجنوبي من الخليج العربي على بعد 100 كم إلى الغرب من أبو ظبي (الشكل- 17).

الشكل- 17: موقع حقلي أم العنبر ونيوة الغلان، بالنسبة لجزيرة مبرز، أبو ظبي



يتوضع حقل أم العنبر على بعد 16 كم إلى الشمال من جزيرة مبرز وهو على شكل قبة تركيبية أبعادها 8 X 7 كم. أما حقل نيو الغلان فيقع بين جزيرة مبرز وبين حقل أم العنبر وهو بدوره قبة تركيبية أبعادها 7 X 6 كم. يحتوي الحقلان على النفط في تشكيلة "عرب" من العصر الجوراسي الأعلى (Uchiyama et al، 2008) [57].

تنقسم هذه التشكيلة إلى أربعة تكوينات فرعية: عرب أ، وعرب ب، وعرب ج، وعرب د، وتنقسم الأخيرة بدورها إلى د1، ود2، ود3. تسمى عرب (أ-ب-ج) باسم تشكيلة قطر، وتسمى عرب د باسم عضو الفحاحيل ضمن تشكيلة دخان، وتمتد تشكيلة عرب عموماً في العديد من حقول أبو ظبي الأخرى مثل أبو البخوش، وأرزانه، والبندق، وشاه، ودلما، وجرنين، وسطح الرزبوت. تبلغ سماكتها الوسطية نحو 110 م في أبو ظبي، وتتراوح مساميتها بين 9.5-18%، ونفاذيتها بين 10-100 ميلي دارسي (حمش، 2011) [58].

بدأ الإنتاج من حقل أم العنبر عام 1989 مع حقن الغاز الحلو، ووضع حقل نيو الغيلان على الإنتاج بنفس التقنية عام 1995، إذ تشير شركة نفط أبو ظبي المتحدة (أدوك)^(*) إلى أن الدفع المائي في الحقلين شبه معدوم وهو ما يجعل نسبة الماء منخفضة في النفط المنتج، لكن كمية الغاز المرافق كبيرة، ويحتوي الغاز المرافق الذي كان يحرق على نسبة مرتفعة من ثاني كبريتيد الهيدروجين H₂S (6% في أم العنبر، و8-23% في نيو الغيلان). أجريت عدة دراسات للحد من مشكلة وجود هذا الغاز الحامض في الغاز المرافق المنتج، وتبين بالنتيجة أن إعادة حقن الغاز الحامض في الممكن ستكون لها فائدة بيئية من جهة، كما أنها ستمثل تقنية للاستخلاص المحسن للنفط، وقد بدأت عمليات حقن الغاز في الربع الأخير من عام 2001. وتذكر الشركة [59] أنها استخدمت تقنية حقن الغاز القابل للامتزاج تحت ضغط مرتفع إضافة إلى إعادة تدوير الغاز مما مكنها من رفع معدل الإنتاج من الحقلين.

(*) Abu Dhabi Oil Company Ltd.

وقبل الانتقال إلى تقنيات أخرى، لا بد من الإشارة إلى أن من أهم المشاكل المحتملة التي تواجه عمليات حقن الغاز كتقنية استخلاص محسن للنفط، مشكلة تشكل القشور (ترسب الأملاح)^(*) التي يمكن تبيانها من خلال المثال الهام التالي عن تشكل القشور في حقلي Kapul، وMaroun في إيران، حيث يعتبر تكون القشور عقبة كأداء تقف في وجه عمليات حقن الغاز في حقول إيران الجنوبية، وقد أشارت دراسة (Asemani et al، 2017)^[60] إلى أن التحاليل التي تم إجراؤها في الحقلين بينت أن ملح كلوريد الصوديوم NaCl كان المساهم الأكبر في عملية تكون القشور في آبار حقن الغاز بسبب وجود المياه الطبقيّة مرتفعة الملوحة، خاصة في الآبار التي كان ترابط الإسمنت خلف مواسير التغليف فيها غير كافٍ لعزل البئر تماماً، وذلك ما تم تبيّنه من القياسات الكهربائية البئرية لمدى ترابط الإسمنت CBL ولتغيرات الكثافة VDL خلف مواسير التغليف.

أدى هذا الضعف في ترابط الإسمنت إلى تسرب جزء من المياه الطبقيّة إلى آبار الحقن وساهم الغاز الجاف المحقون في الحقلين في تبخير جزء من هذه المياه التي أدت إلى انحلال كلوريد الصوديوم في المكمن، ومن ثم ترسبه في أماكن أخرى سواء في المكمن نفسه أو في مواسير الإنتاج ضمن البئر.

2-4-2 الإفاضة بالمياه

تعتبر هذه الطريقة الأسهل من بين طرق الاستخلاص المحسن، وذلك لوفرة المياه وانخفاض تكلفتها مقابل باقي التقنيات.

تعمل تقنية الإفاضة بالمياه (حقن المياه) على الحفاظ على الضغط الطبقي للمكمن قريباً أو أعلى من ضغط انحلال الغاز^(†) Bubble Point Pressure وبالتالي تمنع انسداد المسامات بفقاعات الغاز المنحل. كما أن لزوجة النفط تكون عند أدنى قيمها عند هذه النقطة من الضغط مما يسمح (في حال ثبات باقي الشروط) بإنتاج أكبر كمية ممكنة من النفط.

(*) بطبيعة الحال وكونها مرتبطة بوجود الماء في الطبقة، تظهر هذه المشكلة أيضاً عند استخدام تقنية حقن الماء.
(†) وهو نفسه الضغط الذي تتشكل فيه فقاعات الغاز وتخرج من السائل.

ومن الطبيعي أنه بمرور الوقت ونتيجة لعدم تماثل (تجانس) خواص صخور المكنم، فإن الماء المحقون سوف يجري بشكل أسهل ضمن نطاقات النفاذية المرتفعة، وقد يتجاوز كميات من النفط تبقى محتجزة في المكنم، مما يستدعي استخدام كميات أكبر من الماء، وهذا بدوره يعني أن كمية الماء المنتج مع النفط سوف ترتفع، حتى الوصول إلى نقطة تصبح فيها العملية غير اقتصادية. وعندها إما أن يتم هجر المكنم، أو يتم تحويل الأنظار إلى تقنية استخلاص مختلفة [61].

2-4-2-1 حقن المياه منخفضة الملوحة

من التطورات الهامة التي تشهدها تقنية الإفاضة بالماء التركيز على استخدام الماء منخفض الملوحة Low-salinity water injection. وهي تقنية يتم تطويرها بحيث تعزز فعالية الإزاحة الميكروسكوبية عن طريق تعديل خاصية التبلل Wettability في المكنم بحيث تجعل صخور المكنم أكثر قابلية للتبلل بالماء (محببة للماء) Water wet، وهذا ما يساهم في جعل كميات إضافية من النفط قابلة للحركة، وخاصة تلك الكميات التي تم احتجازها خلف جبهة الإزاحة خلال عملية الإنتاج، مما يرفع بالتالي من معامل الاستخلاص.

وهنا قد يتبادر للذهن سؤال عن إمكانية استخدام مياه عذبة تماماً بدل المياه منخفضة الملوحة، لكن الواقع أن المياه العذبة قد تؤدي إلى انخفاض الإنتاجية لأنها ربما تتسبب بانتفاخ المكونات الغضارية في صخور المكنم (خاصة في المكامن الرملية) مما يخفض النفاذية.

ويبدو أن إمكانية تعديل خاصية التبلل كأداة رئيسية في عملية الاستخلاص قد استرعت الكثير من الانتباه في السنوات الأخيرة حسبما يظهر من مراجعة أدبيات الصناعة البترولية المنشورة مؤخراً، بالرغم من أن هذه النقطة قد طرحت وجربت حقلياً في الولايات المتحدة الأمريكية منذ مطلع الستينات في القرن الماضي، وتشير دراسة قديمة (Leach et al، 1962) [62] إلى تلك التجربة حيث جرى حقن 40 ألف برميل من هيدروكسيد الصوديوم (Na OH) كمحلول مائي في (البئر 13) في حقل Harrisburg، ولوحظ بعدها عودة بعض الآبار لإنتاج النفط بالرغم من أنها كانت ماهرة تماماً. وقد استنتجت الدراسة في حينها أن تعديل خاصية التبلل في صخور المكنم الأكثر قابلية للتبلل بالنفط (المحببة للنفط) Oil wet في بداية الإنتاج وجعلها محبة للماء، قد تساهم في الحد من كميات المياه اللازمة للحقن.

تستخدم شركة BP تعبير LoSal للإشارة إلى تقنية حقن المياه منخفضة الملوحة، وتفسر آلية عمل هذه التقنية بأن الماء يتفاعل فيزيائياً مع الطمي الموجود في الممكن فيحرر النفط الملصق به. وقد طبقت BP هذه التقنية لأول مرة في المرحلة الثانية من مشروع تطوير حقل Clair الواقع على بعد 75 كم إلى الغرب من جزيرة Shetland شمال غرب المملكة المتحدة. اكتشف الحقل عام 1977، لكن التحديات التقنية ومواصفات الممكن الخزنية في الحقل شكلت عائقاً أمام تطويره حتى 2001 حين اتفق الشركاء على خطة للعمل، وفي عام 2005 وضع الحقل على الإنتاج مستهدفاً تطوير 300 مليون برميل من الاحتياطيات المؤكدة القابلة للإنتاج (BP، بدون تاريخ)^[63].

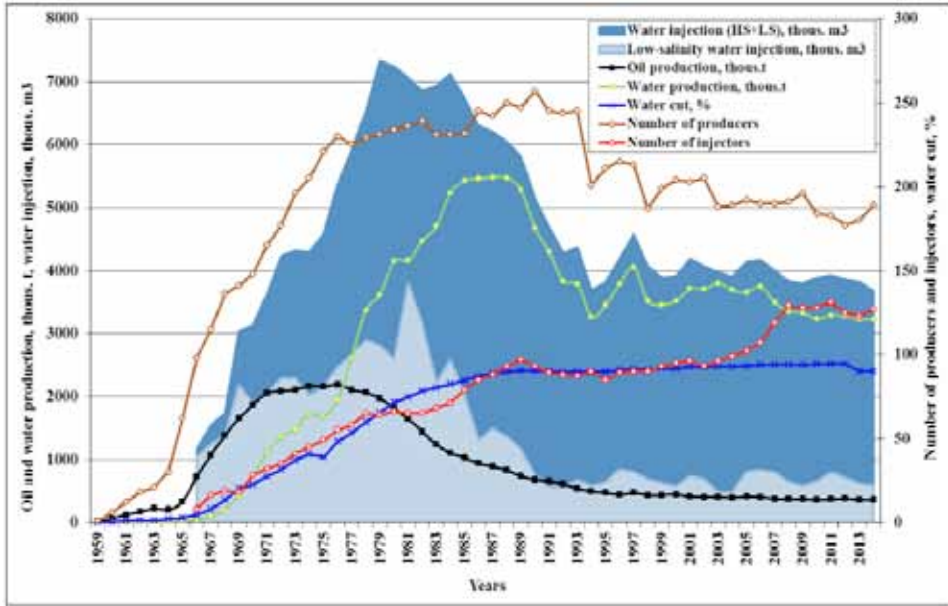
أما المرحلة الثانية من المشروع التي دعت باسم Clair Ridge والتي تضمن تقنية حقن الماء منخفض الملوحة، فتستهدف تطوير 600 مليون برميل من الاحتياطيات، ومن المتوقع أن تظهر نتائج تطبيق هذه التقنية خلال العام الجاري 2018. كما يتوقع أن تضيف نحو 3 دولار لكلفة إنتاج كل برميل من المشروع (Walzel، 2017)^[64].

2-4-1-1-2 حقن الماء في حقل Pervomaiskoye، روسيا

في ورقة أعدها (Akhmetgareev & Khisamov، 2015)^[65] حول حقل Pervomaiskoye الروسي الذي استخدمت فيه تقنية الإفاضة بالمياه لمدة 40 عاماً (30.1% من كميات المياه كانت منخفضة الملوحة)، بينت دراسة عينتين لبيتين Core من بئر في الحقل أن النفاذية النسبية للمياه انخفضت بمقدار 1.5 في إحدى العينات، وبمقدار 2 في العينة الأخرى.

اكتشف الحقل المذكور عام 1958 ووضع على الإنتاج عام 1959، وحتى عام 2015 كان عدد الآبار المحفورة فيه قد بلغ 523 بئراً. أنتج الحقل ذاتياً لمدة 7 سنوات، وبدأت عملية حقن المياه في عام 1966، وفي السبعينات ارتفع معدل الإماهة في الحقل إلى 70%، وبلغ معامل الاستخلاص 28%. **الشكل- 18** بيانات الإنتاج في حقل Pervomaiskoy

الشكل 18: بيانات الإنتاج في حقل Pervomaiskoye الروسي



المصدر: Akhmetgareev and Khisamov، 2015

وفيما بين عامي 1980 و1990 ونتيجة لزيادة معدل وكميات الحقن أمكن رفع ضغط المكمن في الحقل إلى 164 بار بعد انخفاضه سابقاً إلى 146 بار، وترافق ذلك مع ارتفاع الإماهة إلى 90%، ووصل معامل الاستخلاص إلى 38%.

ومنذ عام 1991 دخل الحقل في المرحلة الرابعة من التطوير بمعدل إنتاج سنوي بلغ 650 ألف طن^(*) (حوالي 4.8 مليون برميل)، تناقصت تدريجياً إلى 360 ألف طن (نحو 2.6 مليون برميل) في عام 2015. بلغ الإنتاج الإجمالي حتى مطلع عام 2015 حوالي 49.3 مليون طن (أكثر من 361 مليون برميل) وبلغت كميات المياه المحقونة أكثر من 1.5 مليار برميل، ووصل معامل الاستخلاص إلى 48.2%.

(*) غالباً ما تستخدم الصناعة البترولية الروسية واحدة الطن/اليوم أو الطن/السنة لمعدل إنتاج النفط، وتحويل هذه الكمية إلى برميل/اليوم أو برميل/السنة يعتمد على مواصفات النفط، وإن كان من المقبول عموماً اعتبار أن كل 1 طن من النفط الروسي يعادل حوالي 7.3 برميل.

لكن هذه التقنية لا يقدر لها النجاح دوماً، ذلك أنها كغيرها من التقنيات ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالخواص البتروفيزيائية للمكمن، وبمواصفات الموائع الذي يشغل مساماته، إضافة إلى تاريخ إنتاج الحقل السابق لتطبيق هذه التقنية، فما ينجح هنا قد لا يصيب الهدف هناك. ويمكن توضيح ذلك من خلال دراسة مخبرية أجريت على عينات من حقل الصابرية في دولة الكويت (Al-Murayri et al، 2017) [66]، بينت أن تقنية حقن المياه في الحقل لن تساهم في رفع معامل الاستخلاص، وإن كانت قد توصلت إلى أن هناك تقنيات أخرى للاستخلاص المحسن يمكن أن ينجح تطبيقها حقلياً مثل حقن البوليميرات، ومنشطات التوتر السطحي، وحقن غاز ثاني أكسيد الكربون.

وفي دراسة مخبرية مشابهة (Zeinijahromi et al، 2015) [67] أجريت على حقل Zichebashskoe الواقع في جمهورية تترستان(*)، وبهدف تحري تأثير تراجع النفاذية النسبية للماء على معدل إنتاج النفط خلال حقن المياه منخفضة الملوحة، تمت مراجعة بيانات الإنتاج لمدة 24 عاماً من بينها 7 سنوات جرى خلالها حقن المياه منخفضة الملوحة في الحقل، لكن النتائج لم تكن ذات شأن إذ أن معامل الاستخلاص للنفط خلال تلك الفترة ارتفع بالكاد فوق معدل 4%. بدأ الإنتاج من الحقل عام 1989، وبدأت عمليات حقن المياه منخفضة الملوحة عام 2006، وقد بينت نتائج المحاكاة ثلاثية الأبعاد للحقل أن السبب وراء عدم وجود تحسن ملحوظ في معامل الاستخلاص يعود لنقطتين، هما:

- 1- وجود كمية كبيرة من المياه الطبقيّة مرتفعة الملوحة في المكمن (ارتفاع درجة الإمالة) بسبب القيام بعمليات الحقن في أسفل النطاق المائي للحقل، مما دفع بالمياه الطبقيّة نحو النطاق النفطي المنتج، وحد بالتالي من تأثير المياه منخفضة الملوحة.
 - 2- فعالية الكسح كانت مرتفعة أساساً قبل حقن المياه منخفضة الملوحة.
- ومن التجارب العربية في مجال حقن الماء يمكن الإشارة إلى تجربة مملكة البحرين.

(*) من دول الاتحاد السوفيتي السابق.

2-1-2-4-2 حقن الماء في حقل البحرين

اكتشف حقل البحرين (العوالي) عام 1932، وهو بذلك أقدم حقل في منطقة الخليج العربي، يقع الحقل على أطراف الصفيحة العربية (Arabia Platform) وهو عبارة عن طية غير متماثلة التحدب (Asymmetrical Anticline) يمتد على 30 كم طولاً و10 كم على محور شمالي جنوبي. ينتج الحقل من عدة تشكيلات، منها تشكيلة عرب العائدة للعصر الجوراسي الأعلى وتتكون من صخور كربونانية تفصلها طبقات من الانهدريت، و تنقسم إلى عرب (أ- ب- ج) المنتجة بشكل رئيسي للغاز، وعرب د المنتجة للنفط. كما ينتج الحقل من مجموعة الواسع العائدة للعصر الكريتاسي والمكونة ليثولوجياً من حجر رملي و حجر جيرى مرجاني، تتحول جزئياً إلى طمي (الحمش، 2011) [68].

تعتبر تشكيلة نهر عمر (من ضمن مجموعة الواسع) الهدف الأساسي للمشروع التجريبي لحقن المياه الذي بدأ عام 2013 حسبما تشير له دراسة (Al Janahi et al، 2017) [69]. وبحسب الدراسة تتألف التشكيلة من مكمين Cc و Cd، يتمتع الأول منهما (الذي استهدف بعمليات الحقن) بالموصفات المبينة في الجدول-7، وقد بدأت عمليات حقن الماء في المكمين Cc ضمن الجزء المركزي من الحقل عبر نموذج النقاط الخمس المعكوسة (Inverted 5-spot pattern) حيث يتم الحقن في بئر ويتم الإنتاج من أربعة آبار تحيط به.

الجدول-7: بعض مواصفات مكمين Cc في تشكيلة نهر عمر-حقل البحرين

12	السماكة (م)
30	المسامية (%)
258	النفاذية (ميلي دراسي)
43	التشبع الأولي بالماء (%)

مستخلص من (Al Janahi et al، 2017)

جرى حقن 924 ألف برميل من الماء في المكمن خلال المشروع التجريبي فيما بين مطلع عام 2013 وحتى منتصف عام 2014 وبمعدل ناهز 1500 ب/ي من الماء. وخلال عام 2014 تم تطبيق هذه التقنية على 11 بئراً للحقن منها 5 حفرت لهذه الغاية، أما البقية فكانت آبار إنتاج تم تحويلها إلى آبار حقن، بينما تم الإنتاج من 24 بئراً، ومع بدأ حقن المياه في شهر أيلول/سبتمبر 2014 وحتى شهر أبريل/ نيسان 2016 بلغت كميات المياه المحقونة 13.4 مليون برميل، وهذا ما ساهم في إنتاج 191 ألف برميل من النفط خلال ثمانية عشر شهراً بمعدل زيادة تراكمي بلغ 350 ب/ي. وتؤكد الدراسة على أن المعدل التراكمي لزيادة الإنتاج (حتى شهر شباط/فبراير 2017) ارتفع ليصل إلى 400 ب/ي من 21 بئر إنتاج.

2-4-3 حقن البوليمير

يعمل البوليمير على رفع لزوجة الماء المحقون مما يساهم في دفع النفط عبر مسامات المكمن، كما أن هناك آلية أخرى لتأثير البوليمير تتمثل في أن قوى التجاذب السطحي بين البوليمير والنفط أقوى من نظيرتها بين الماء والنفط، مما يولد قوى شد يمكنها نزع الطبقات الرقيقة من النفط من سطح المسام وبالتالي تخفيض الإشباع المتبقي بالنفط في المكمن (Sheng، 2013) [70]. يستخدم عموماً صنفان رئيسيان من البوليميرات في عمليات الاستخلاص المحسن للنفط، وهما:

1- الصنف الصناعي: مثل بولي أكريلاميد المحلّمه جزئياً*.)

2- الصنف البيولوجي الطبيعي: مثل صمغ الزانثان*.)

وينتشر استخدام الصنف الصناعي من البوليميرات أكثر من الصنف الطبيعي، بسبب انخفاض تكلفته وتوفره. وقد وجد (Manning et al، 1983) [71] أن متوسط الارتفاع التراكمي لمعامل الاستخلاص باستخدام هذه التقنية بلغ 2.91%، كما وجد بناء على تحليله لبيانات 92 مشروعاً بين عامي 1960 و1980 أن متوسط تركيز البوليمير بلغ 260-260 جزء بالمليون*.)

* Partially hydrolyzed polyacrylamide.

* Xanthan.

* ppm

في سائل الحقن. بينما ذكر (Seright، 2017) [72] أن تركيز البوليمر بلغ 460 جزء بالمليون وذلك بناء على تحليل بيانات 171 مشروعاً بين عامي 1980 و1990. وبلغ تركيز البوليمير منذ عام 1990 وحتى اليوم أكثر من 1000 جزء في المليون في معظم المشاريع.

2-4-3-1 حقن البوليمير في حقل Daqing الصيني

يعتبر حقل Daqing خير مثال عن تطبيق تقنية حقل البوليمير. يقع الحقل في شمال شرق الصين [73] قرب الحدود مع روسيا كما هو موضح في الشكل- 19، وقد اكتشف عام 1959 عبر البئر الاستكشافي 3. Songji، ووضع على الإنتاج في نفس العام.

الشكل- 19: موقع حقل Daqing في الصين



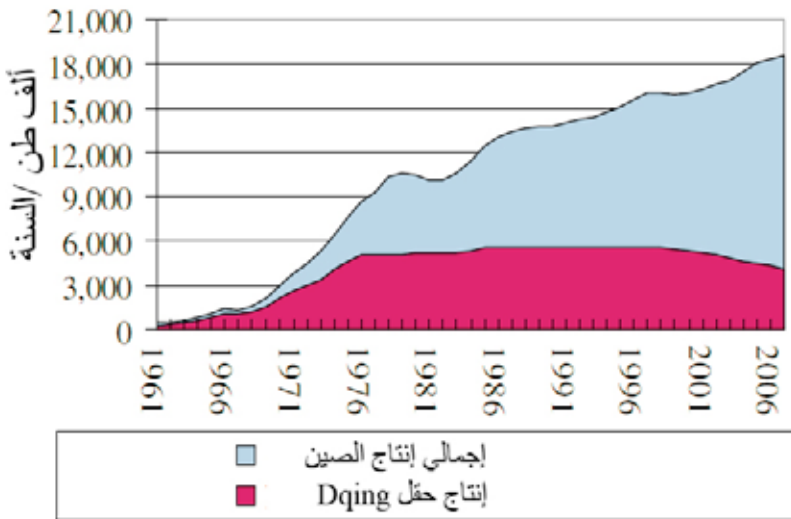
المصدر: Duey، 2015.

يمثل Daqing أكبر حقول الصين ويمتد على مساحة تزيد عن 5000 كم مربع، وصل إنتاج الحقل عام 1963 إلى 30 مليون طن في السنة، أي ما يعادل نحو 600 ألف ب/ي، وبلغ

1 مليون ب/ي عام 1976، وبلغ الحقل ذروة إنتاجه عام 1997 حيث وصل الإنتاج إلى 1.2 مليون ب/ي بينما انخفض إنتاجه إلى 832 ألف ب/ي عام 2007 بمعدل تراجع سنوي في الإنتاج قدر بنحو 2.9% (Tang et al، 2010) [74].

يبين الشكل- 20 معدل إنتاج الحقل بين عامي 1961 و2007 مقدراً بالمليون طن سنوياً. تأتي أهمية هذا الحقل من كونه أنتج نحو 22.4% من إجمالي إنتاج الصين في عام 2007، بينما كان يمثل أكثر من 75% من الإنتاج في ستينيات وسبعينات القرن الماضي.

الشكل- 20: إنتاج حقل Daqing 1961- 2007



المصدر: Tang et al، 2010

بدأت الأبحاث حول إمكانية تطبيق تقنيات الاستخلاص المحسن في الحقل في أواخر الستينيات من القرن الماضي، وفي عام 1972 بدأت التجارب الحقلية في الحقل باستخدام بئر بتباعد صغير (75 م). وفي الثمانينات أطلق مشروع تجريبي بهذا الخصوص في مركز الحقل باستخدام عدد من الآبار بتباعد أكبر. وقد بينت نتائج المشروع مترافقة مع الأبحاث التي امتدت بين منتصف الثمانينات ومطلع التسعينات أن تقنية حقن البوليمير هي التقنية الأمثل لرفع فعالية الإزاحة الأفقية والعمودية في الحقل، وهذا ما قاد إلى إطلاق أكبر مشروع لحقن البوليمير في العالم في عام 1996.

وبحلول عام 2007، كان حقن البوليمير بتركيز تراوح بين 2200-2500 مغ/لتر العامل الرئيسي في إنتاج أكثر من 22% من إجمالي إنتاج الحقل (نحو 200 ألف ب/ي)، وساهم في رفع الاستخلاص الأعظمي من الحقل إلى 50% من الاحتياطي الجيولوجي [75]. أما لزوجة البوليمير المستخدم فتراوحت بين 150-300 سنتي بواز (cp) لإزاحة النفط الذي تبلغ لزوجته 10 سنتي بواز (Seright، 2017).

2-3-4-2 حقن البوليمير في حقل مرمول في سلطنة عمان

من التجارب العربية لاستخدام هذه التقنية يمكن الإشارة إلى حقن البوليمير في حقل "مرمول" في سلطنة عمان.

اكتشف الحقل عام 1956 في جنوب البلاد في منطقة ظفار، والمكمن الأساسي في الحقل مكون من صخور رملية تعود لحقبة الباليوزويك (نهاية العصر الكربوني وأول العصر البيرمي). قدر الاحتياطي الجيولوجي في الحقل بنحو 2.5 مليار برميل من النفط الثقيل (21 °API)، والذي تبلغ لزوجته 80 سنتي بواز، ودرجة حرارة المكمن 46 °مئوية. وخلال الثمانينات من القرن الماضي كان الحقل في مرحلة التطوير الأساسية وبلغ معدل إنتاجه اليومي 45 ألف ب/ي، وبينت دراسة (Teeuw et al، 1983) [76] أن استخدام تقنية حقن البوليمير سيساهم في إنتاج كمية كبيرة من النفط مقارنة بحقن الماء. وتشير دراسة عن التقييم البيئي لممتلكات شركة تنمية نفط عمان إلى أن إنتاج الحقل بلغ أكثر من 70 ألف ب/ي عام 2002 (Akella، 2003) [77].

وقد تبنت شركة "تنمية نفط عمان" استخدام هذه التقنية حيث اكتمل أول مشروع من نوعه في البلاد لحقن البوليمير في الحقل عام 2010، وأسفر عن إضافة 8000 ب/ي إلى الإنتاج الأساسي للحقل (PDO، Timeline) [78].

2-3-4-3 حقن البوليمير مع منشطات التوتر السطحي Surfactant والقلويات Alkaline

تعمل منشطات (مخفضات التوتر السطحي) كما يشير الاسم على تخفيض التوتر السطحي بين النفط وسوائل الطبقة (الماء)، وتسمح بالتالي للنفط بالتحرك بحرية أكبر، إذ يمكن النظر إلى

النفط المتبقي في المكن Residual Oil، على أنه كريات دقيقة جداً تتوزع في مسامات الصخور. وتتأثر هذه الكريات بقوتين أساسيتين هما القوى الشعرية، وقوى اللزوجة. وكلما ارتفع الرقم الشعري، كلما تحسنت فعالية إزاحة النفط. حيث يعبر الرقم الشعري عن النسبة بين اللزوجة، وبين القوى الشعرية.

تتكون منشطات التوتر السطحي من مجموعتين، إحداهما محبة للمواد الدهنية Lipophilic، والأخرى كارهة للمواد الدهنية Lipophobic. تتمتع المجموعة المحبة للمواد الدهنية بقابلية انحلال جيدة، بعكس المجموعة الثانية. وتعتبر السلفونات(*) من أهم هذه المواد، سواء الصناعية، أو تلك المستخلصة من نواتج عمليات التكرير في مصافي النفط والتي تدعى بالسلفونات البترولية.

لا تستخدم منشطات التوتر السطحي عادة إلا بالترافق مع البوليمير بسبب لزوجتها المنخفضة التي تجعلها تتسلل عبر مسامات المكن تاركة جبهة النفط خلفها.

أما استخدام القلويات فيستند إلى تأثير النفط بهذه المواد مشكلاً مستحلبات يمكنها التحرك بسهولة في مسام المكن. ظهرت هذه التقنية في الصناعة البترولية للمرة الأولى في عام 1917، إلا أنها لم تلق رواجاً مثل باقي التقنيات خاصة في الصخور الكربونائية، إذ أن القلويات يمكن أن تتفاعل مع الكالسيوم لترسب الهيدروكسيدات، مما يخفض نفاذية ومسامية المكن.

يبين الجدول- 8 بعض خصائص القلويات شائعة الاستخدام.

الجدول- 8: القلويات شائعة الاستخدام في عمليات الاستخلاص البترولي المحسن

المركب	الصيغة الكيميائية	الوزن الجزيئي	قابلية الذوبان غ/سم ³	
			في الماء البارد	في الماء الحار
هيدروكسيد الصوديوم	NaOH	40	42	347
أورثوسيليكات الصوديوم	Na ₄ SiO ₄	184	15	56
ميتاسيليكات الصوديوم	Na ₂ SiO ₃	122	19	91
الأمونيا	NH ₃	17	89.9	7.4
كربونات الصوديوم	Na ₂ CO ₃	106	7.1	45.5

المصدر: حمش، 2010

(*) أملاح أو إسترات بنية شاردها النموذجية هي: R-SO₃⁻

2-4-3-4 حقن البوليمير مع منشطات التوتر السطحي في حقل Minas الإندونيسي

من الأمثلة على استخدام منشطات التوتر السطحي مع البوليمير، يمكن ذكر حقل Minas في إندونيسيا، والذي يعتبر أكبر حقول النفط في جنوب شرق آسيا. اكتشف الحقل عام 1944، وقدر احتياطياته الجيولوجية بنحو 9 مليار برميل. يتميز الحقل بسماكته التي تصل إلى 150 م، وتبلغ المسامية الوسطية فيه نحو 26%، ويتميز بنفاذية مرتفعة تصل إلى 4 دارسي، وتبلغ لزوجة النفط فيه 3 سنتي بواز. بلغ الضغط الأولي للمكمن في الحقل 138 بار، وكانت درجة حرارته 93 ° مئوية، أما ملوحة المياه الطبقيّة فبلغت 3000 جزء بالمليون^(*).

وضع الحقل على الإنتاج عام 1952، ولوحظ منذ البداية أن الدفع المائي في الحقل أقل مما كان متوقّعا، فبدأ حقن الماء في الحقل عام 1972، ووصل الإنتاج إلى ذروته (440 ألف ب/ي) عام 1973. وفي عام 2000 بلغت إمامة الحقل حوالي 97%، وقد أعلنت شركة Chevron التي تدير عمليات الحقل أن Minas أنتج نحو 4.5 مليار برميل من النفط منذ وضعه على الإنتاج وحتى ذلك التاريخ، بينما تبقى نحو 50% من الاحتياطيات التي استهداها بطرق الاستخلاص المحسن.

وكانت الشركة قد أجرت دراسة سابقة عام 1994 لتحري الطريقة المثلى للاستخلاص المحسن في الحقل، وقد بينت الدراسة إمكانية استخدام حقن الأبخرة النفطية الخفيفة LOSF^(†) أو حقن البوليمير مع منشطات التوتر السطحي.

تم إجراء أول تجربة لحقن منشطات التوتر السطحي في الجزء الجنوبي من الحقل، عبر 4 آبار حقن وبئر إنتاج واحد مركزي (نموذج النقاط الخمس)، إضافة إلى 4 آبار مراقبة، و5 آبار لأخذ العينات، وبئرين حفرا لاحقا للحصول على العينات الأسطوانية اللبية Cores^[79]. وتضمنت التجربة حقن الماء في مناطق التشبع المتبقي بالنفط، ثم حقن منشطات التوتر السطحي، ثم حقن

(*) ppm
(†) Light Oil Steam Flood

البوليمير، ثم حقن الماء ثانية. وجرى خلال التجربة تفحص عدد كبير جداً من العينات الصخرية المقطعة من العينات الأسطوانية اللبية، وذلك لتحري أفضل نسبة في مزيج الحقن.

بدأ حقن الآبار لغرض التجربة عام 1998، وبدأت حقن الماء عام 1999، تبعه حقن منشطات التوتر السطحي عام 2000 الذي استمر حتى مطلع 2002، وظهرت نتائج واعدة للتجربة، لكنها بينت الحاجة إلى المزيد من التقييم، فتم وضع خطة لتجربة أخرى عام 2012 [80]. وحتى عام 2013 أمكن إنتاج 670 ب/ي من النفط من البئر التجريبي. لكن هذه التقنية لها حدود من أهمها الكلفة وهي أحد المعايير الأساسية في أي صناعة، وقد بينت دراسة لمجموعة من جامعة Islam Riau (Abdulrahman et al، 2016) [81] أن كلفة المواد الكيميائية بلغت 110 دولار لكل برميل نفط، منها 30 دولار للبوليمير، و70 دولار لمنشطات التوتر السطحي، و10 دولار للمعدات والتسهيلات. وربما كان هذا السبب وراء عدم توفر معلومات حديثة عن هذه التجربة، إذ أن شركة Chevron تشير على موقعها الرسمي إلى الاعتماد على حقن الماء والحفر البيني التطويري.

2-4-3-5 حقن القلويات في حقل Saskatchewan في كندا

اكتشف مكن Court Bakken للنفط الثقيل في حقل Saskatchewan الكندي عام 1982، وبدأت عمليات حقن الماء في المكن عام 1988، حيث وصل عدد آبار الحقن إلى 20 بئراً وعدد آبار الإنتاج إلى 28 بئراً. وحتى عام 2007 بلغت الإماهة في الحقل 95%، وبلغ معامل الاستخلاص نحو 30%. بدأت العمليات عبر بئر اختبار واحد جرى حقن الماء فيه حتى أزيح كل ما يمكن إزاحته من النفط للوصول إلى التشبع بالنفط المتبقي. ثم جرى حقن محلول قلوي بتركيز 5000 جزء بالمليون، أتبع بكميات إضافية من الماء، وبينت القياسات الكهربائية البئرية لاحقاً أن التشبع بالنفط المتبقي كان 0.28 قبل حقن القلويات، بينما انخفض إلى 0.17 بعد الحقن.

وبناء على هذه النتيجة تم تصميم مشروع تجريبي مكون من بئر حقن لماءات الصوديوم (هيدروكسيد الصوديوم) وثلاثة آبار إنتاج، وبدأت عمليات الحقن في منتصف عام 2006. تشير

النتائج إلى أن تطبيق هذه التقنية ساهم في رفع معامل الاستخلاص بمعدل 9% (Sheng، 2013) [82].

وفي بعض الحالات يتم استخدام القلويات ومنشطات التوتر السطحي والبوليميرات في آنٍ معاً (ASP)، ويشير (Sheng، 2013) إلى أنه في الفترة ما بين 1990- مطلع 2000، تركزت معظم المشاريع التجريبية والتطبيقات الحقلية لاستخدام ASP في الحقول الصينية، وكانت التراكيز الوسطية للمحاليل المحقونة: 1.28% من القلويات، و0.28% من منشطات التوتر السطحي، و0.15% من البوليميرات. لكن هذا لا ينفي وجود مشاريع أخرى خارج الصين تطبق هذا النوع من التقنيات، ويمكن هنا الإشارة إلى مثال عن حقل West Kiehl في الولايات المتحدة الأمريكية.

2-4-3-6 حقن ASP في حقل West Kiehl الأمريكي

اكتشف حقل West Kiehl عام 1985 في ولاية Wyoming الأمريكية، وتم إكمال البئر الاستكشافي (State 31-36) في طبقة رملية (Minnelusa L. B) على عمق 2037-2044 م، وأنتج بمعدل يقارب 300 ب/ي من النفط المتوسط (24 °API)، الذي بلغت لزوجته 17 سنتي بواز، وبلغت حرارة المكمن 49°. حفرت لاحقاً آبار أخرى في الحقل، ووضع الحقل على الإنتاج عام 1987. بلغت نفاذية المكمن 345 ميلي دراسي، ومساميته 23%، واحتوت المياه المنتجة على 46,480 ملغ/ل من المواد المنحلة.

قدر الاحتياطي الجيولوجي في الحقل بنحو 1.5 مليون برميل، وقدر معامل الاستخلاص بنحو 11% فقط، إذ بالرغم من الموصفات الخزنوية الجيدة نسبياً للمكمن، إلا أن الضغط انخفض بشكل سريع من نحو 152 بار في شهر أيلول/ سبتمبر 1985، إلى 91 بار في مطلع شهر كانون الثاني/يناير 1986 [83]. درست عدة طرق لتحسين إنتاج الحقل، كان من بينها:

1- حقن الماء: قُدر أنه سيرفع معامل الاستخلاص بنسبة 29% إضافة إلى 11% من الإنتاج

الأولي. أي أن معامل الاستخلاص سيبلغ 40%.

2- حقن البوليمير: قدر أن هذه الطريقة ستعطي نفس نتيجة حقن الماء، لكن بزمن أقل.

3- حقن القلويات مع البوليمير: وبينت الدراسات أيضاً أن معامل الاستخلاص باستخدامها سيصل إلى 40%.

4- حقن القلويات مع البوليمير ومنشطات التوتر السطحي: بينت الدراسات أن هذه الطريقة سترفع معامل الاستخلاص إلى 56%.

بناء على ذلك تم البدء بحقن الماء في الحقل في منتصف أيلول/سبتمبر 1987، وفي 3 كانون الأول/ديسمبر 1987 بدأ حقن كربونات الصوديوم، وبعدها بأربعة عشر يوماً أضيفت منشطات التوتر السطحي إلى سائل الحقن، بينما تمت إضافة البوليميرات من 28 كانون الثاني/يناير 1988، وحتى شهر حزيران/يونيو 1989، حيث توقف بنفس التاريخ حقن منشطات التوتر السطحي، وبعدها بشهر واحد أوقفت إضافة الكربونات، بينما استمرت إضافة البوليمير للماء حتى شهر نيسان/أبريل 1991. وإجمالاً بلغت كلفة العملية 2.31 دولار لكل برميل^(*) إضافي من النفط تم إنتاجه بهذه التقنية.

هذا الحقل رغم صغر حجمه يبين أن هذه التقنية طبقت بنجاح رغم أن أسعار النفط في حينها تراوحت بين 14-16 دولار/ البرميل تقريباً حسب الأسعار الاسمية، أي ما يتراوح بين 30-36 دولار/البرميل حسب أسعار عام 2017.

ويمكن لتوضيح صورة هذه التقنية أكثر، عرض مثال آخر من حقل Mannville B في كندا الذي ينتج النفط الثقيل.

2-4-3-7 حقن ASP في حقل Mannville B الكندي

اكتشف حقل Mannville B جنوب ألبرتا عام 1963، وقدرت الاحتياطي الجيولوجي من النفط فيه بأكثر من 23.8 مليون برميل. تتراوح المسامية في الحقل بين 18 و28%، وتصل النفاذية إلى 1500 ميلي دراسي، ولزوجة النفط 119 سنتي بواز، وكثافة النفط 937 كغ/م³

(*) حسب القيمة الاسمية للدولار في عام 1992.

(تعاادل 19.4 °API)، وحرارة المكنم 35 ° مئوية. وقد قدر معامل الاستخلاص الأعظمي باستخدام حقن الماء بحوالي 38.9%.

بدأت عمليات حقن الماء في الحقل عام 1967، وبلغ ذروة إنتاجه عام 1973 حيث أنتج بمعدل 3402 ب/ي، وبدأ الإنتاج بعدها بالتراجع. في عام 1996، تم حفر مجموعة من الآبار التطويرية البينية (Infill wells) ساهمت في رفع معدل الإنتاج اليومي بنسبة 60% ليصل إلى 5443 ب/ي. وفي عام 2006 انخفض إنتاج الحقل إلى 365 ب/ي فقط.

تشير ورقة (McInnis et al، 2013) [84] إلى أن عمليات حقن ASP في الحقل بدأت في شهر أيار/مايو 2006، ولوحظ ظهور تأثير الحقن بعد ثلاثة أشهر فقط من بدأ العمليات، إذ ارتفع معدل الإنتاج بالتدريج حتى وصل إلى 1893 ب/ي في شهر تشرين الأول/أكتوبر 2008، حيث توقف حقن القلوبات ومنشطات التوتر السطحي، وتمت متابعة حقن البوليمير فقط. وحتى نهاية عام 2012 كان الحقل قد أنتج 2.65 مليون برميل، أي ما يعادل 11% من الاحتياطي الجيولوجي. ثم بدأ الإنتاج بالتراجع بعد عام 2012 حيث وصل المعدل إلى 1167 ب/ي.

يبين الشكل- 21 تاريخ الإنتاج للحقل، ويلاحظ منه بوضوح ارتفاع معدل الإنتاج بعد

تطبيق تقنية حقن ASP (*).

(*) الإنتاج بوحدة م³/ي كما هو وراذ في الورقة التي تم استخلاصه منها، وبالنسبة لمواصفات النفط في هذا الحقل فإن كل 1 م³ تعادل 6.309 برميل.

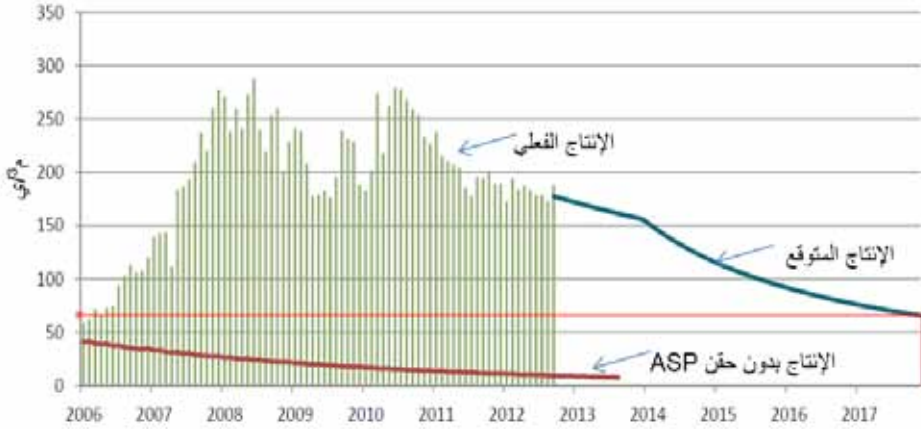
الشكل- 21: تاريخ إنتاج حقل Mannville B الكندي



المصدر: McInnis et al، 2013

ورغم عدم توفر معلومات حديثة عن الحقل، إلا أن الورقة المنشورة عام 2013 تضمنت توقعات الإنتاج المستقبلية المبينة في الشكل- 22، والذي يمكن من خلاله تقدير الإنتاج الحالي للحقل في عام 2018 بنحو 65 م³/ي، أي ما يعادل 410 ب/ي.

الشكل- 22: الإنتاج المتوقع من حقل Mannville B الكندي



المصدر: McInnis et al 2013

4-4-2 حقن البخار

يندرج حقن البخار تحت الطرق الحرارية للاستخلاص المحسن للنفط، ويقدر أن الإنتاج بتقنية الإفاضة بالبخار، يشكل 58% من مجمل مساهمة تقنيات الإنتاج المدعم للنفط في إنتاج النفوط التي تقل كثافتها عن 23° API على مستوى العالم (حمش، 2010) [85]. ولا بد عند الحديث عن حقن البخار من توضيح بضع نقاط:

1- السعة الحرارية(*) وهي كمية فيزيائية قابلة للقياس تحدد كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة مادة ما بقدر محدد، وهي حسب دائرة المعارف البريطانية(†): النسبة بين كمية الحرارة التي يمتصها جسم ما وبين تغير درجة حرارة هذا الجسم. ويعبر عنها في مقام الاستخلاص البترولي بواحد كيلو جول /درجة مئوية °KJ/C.

(*) Heat Capacity.

(†) Encyclopedia Britannica.

2- الحرارة الكامنة(*) : هي كمية الحرارة التي يمتصها أو يصدرها جسم ما خلال تحوله من طور إلى آخر بدون أن تتغير درجة حرارته(†). وهي خلال عمليات حقن البخار تعبر عن الحرارة التي يصدرها البخار عند تحوله إلى ماء ساخن.

3- الضغط البخاري، ضغط الإشباع، حرارة الإشباع(‡): ضمن أي نظام فيزيائي يكون للسائل ضغط بخاري سواء مرتفع أو منخفض، وعندما يتساوى الضغط البخاري للسائل مع الضغط الجوي، يسمى بضغط الإشباع، وحرارة السائل عند تلك النقطة هي حرارة الإشباع.

4- جودة البخار(§): هي الكمية الوزنية من البخار مقسومة على إجمالي كتلة السائل والبخار معاً.

أما لزوجة النفط المرتبطة بدرجة الحرارة، فتصفها معادلة Andrade^[86]:

$$\mu_o = A \exp\left(\frac{B}{T}\right)$$

حيث:

μ_o هي لزوجة النفط.

T هي درجة الحرارة المطلقة.

أما A ، و B فهي ثوابت تجريبية تحدد بالقياس.

تعتمد آلية تأثير البخار على تخفيض لزوجة النفط، إضافة إلى رفع الضغط في المكنن عبر البخار المحقون. وربما لا يكون التأثير على اللزوجة ذا شأن في حال تطبيق هذه التقنية على مكامن النفط الخفيف، بل يكون الاعتماد على الماء الساخن المتكثف في المكنن، حيث يتبخر جزء من الهيدروكربونات، كما تنقطر بعض المكونات الخفيفة من النفط وتسير مع

(*) Latent Heat.

(†) Encyclopedia Britannica.

(‡) Vapor Pressure, Saturation Pressure, and Saturation Temperature.

(§) Steam Quality.

جبهة البخار حتى تتكثف لاحقاً وتمتزج مع النفط الأقل حرارة. كما تعمل تقنية حقن البخار أيضاً مثل آلية تقنية حقن الغاز، إضافة إلى تأثيرها على النفاذية النسبية، وتعديلها لخاصية تبلل الصخر، وقد تعمل عبر تشكيل مستحلب من الماء والنفط [87]. وهناك العديد من الأمثلة عن استخدام تقنية حقن البخار، منها:

4-2-1-4 حقن البخار في حقل Duri الأندونيسي

يعتبر مشروع حقن البخار في حقل Duri أحد أكبر المشاريع من هذا النوع في العالم. اكتشف حقل Duri على اليابسة في جزيرة سومطرة عام 1941، ووضع على الإنتاج عام 1954. وقد بلغ إنتاج الحقل ذروته في منتصف الستينات من القرن الماضي بمعدل وصل إلى 65 ألف ب/ي. تبلغ سماكة المكمن المنتج في الحقل 33 م، ومساميته 36%، ونفاذيته 1550 ميلي دارسي، وتبلغ حرارة المكمن نحو 38° مئوية، وتصل لزوجة النفط عند درجة حرارة المكمن إلى 157 سنتي بواز (Pearce and Megginson، 1991) [88]. وأشار (Guntis، 1990) [89] إلى أن الاحتياطي المؤكد في الحقل قدر بنحو 2 مليار برميل من النفط الثقيل (23 °API).

تراجع إنتاج الحقل بالتدرج نتيجة التراجع الطبيعي في ضغط المكمن، فطبقت تقنية حقن البخار في عام 1985، وحتى عام 2008 كان إنتاج الحقل قد تضاعف ثلاث مرات ووصل إلى 185 ألف ب/ي. وفي عام 2013 كان 80% من الحقل يعمل بتقنية حقن البخار. وتذكر شركة Chevron التي تدير عمليات الحقل أنها حفرت أكثر من 56 بئر حقن للبخار في الحقل في عام 2012 لوحده، ويتلقى المشروع الطاقة الكهربائية من محطة للشركة باستطاعة 300 ميغا واط. كما تذكر الشركة أنها أنجزت منطقة التوسع 12 في عام 2009، مما أضاف 40 ألف ب/ي للإنتاج، وفي منتصف عام 2012 تم إرساء مشروع توسعة المنطقة 13 من الحقل على شركة Chevron، وتضمن المشروع الذي قدرت قيمته بنحو 500 مليون دولار، حفر 539 بئراً، منها 358 بئراً للإنتاج، و145 بئراً لحقن البخار، و36 بئراً لمراقبة درجة الحرارة، وقدر للتوسعة أن تضيف نحو 17 ألف ب/ي إلى إنتاج الحقل [90].

لكن ورقة نشرت حديثاً (Rinaldi et al، 2017) [91] بينت ظهور صعوبات وعوائق جمة أمام مشروع التوسعة، منها:

- 1- وضعت خطة التوسعة على أساس جودة عالية في مركز للمكمن، لكن الحفر على حدوده بين أن الجودة أقل من المتوقع.
- 2- انخفاض معدل السحب(*)، ذلك أن معدل السحب في مركز المكمن يبلغ وسطياً 300 ب/ي من السوائل، بينما لم يزد عن 100 ب/ي على الأطراف.
- 3- انخفاض قابلية الحقن(†)، إذ أن معظم نماذج الحقن لم تزد عن 100-300 ب/ي من البخار، بينما وضعت خطة المشروع على أساس 800 ب/ي.

وقد وضعت عدة حلول للتغلب على تلك العوائق في انتظار ظهور نتائج إيجابية من التوسعة. لكن استخدام حقن البخار عموماً أتى أكله، إذ تذكر Chevron أن الإنتاج التراكمي من الحقل بلغ أكثر من 2 مليار برميل من النفط منذ عام 2008، وهو الرقم الذي كان معتمداً سابقاً للاحتياطي المؤكد في الحقل، بينما لا يزال الحقل منتجاً حتى اليوم.

وهناك طرق أخرى لتطبيق تقنية حقن البخار مثل الحقن الدوري Cyclic Steam، وهي تقنية تختلف عن الحقن العادي حين يتم الحقن في بئر والإنتاج من بئر آخر، بينما في الحقن الدوراني يتم الحقن في البئر المنتج نفسه. حيث يحقن البخار ويترك فترة حتى يقوم بتسخين النفط وتخفيض لزوجته، ثم يوضع البئر على الإنتاج.

وعادة يكون معدل إنتاج النفط في البداية مرتفعاً بسبب درجة التشبع العالية، وارتفاع الضغط في المكمن، وانخفاض لزوجة النفط. ثم مع استمرار الإنتاج تنخفض درجة التشبع، وتنخفض حرارة النفط التي ينتقل جزء منها إلى صخور المكمن، وبالتالي تنفض اللزوجة ثانية. وعند نقطة معينة يتم اللجوء إلى دورة ثانية من حقن البخار وهكذا.

(*) Withdrawal

(†) Injektivty

وقد يشار إلى هذه التقنية أيضاً باسم Huff and Buff، وهي تتطلب في المعايير التصميمية أن تكون جودة البخار بين 80-85%، وتتراوح فترة الحقن بين 14-21 يوماً، تليها فترة انتظار تتراوح بين 1-4 أيام (Taber et al، 1997). ويتم عملياً حقن الماء أولاً في المكمن إذا كانت لزوجة النفط بين 50-150 سنتي بواز، ثم يتم حقن البخار. أما إذا كانت لزوجة النفط أعلى من ذلك فيحقن البخار دون اللجوء لحقن الماء. ومن الأمثلة على هذه التقنية:

2-4 4-2 الحقن الدوري للبخار في حقل Cold Lake الكندي

يعتبر مشروع الحقن الدوري للبخار في حقل Cold Lake أحد أكبر المشاريع من نوعه ضمن رمال النفط Oil Sands، والحقل هو واحد من أربعة حقول رئيسية منتجة في ألبرتا، تقدر احتياطياته بنحو 160 مليار برميل من النفط الثقيل (10.2 ° API)، وتبلغ نسبة الكبريت [92] فيه 3.95% وزناً، وتصل لزوجته إلى 100 ألف سنتي بواز عند حرارة 13 ° مئوية، تبلغ مسامية المكمن 37%، ونفاذيته 3000 ميلي دراسي، ويتراوح عمقه بين 300-600 م، ويقدر ضغطه الأولي بنحو 31 بار، وسماكته الوسطية نحو 33 م. لذلك كان من غير العملي تعدين النفط Mining بسبب عمق المكمن، ومن المستحيل ضخه إلى السطح بسبب لزوجته العالية.

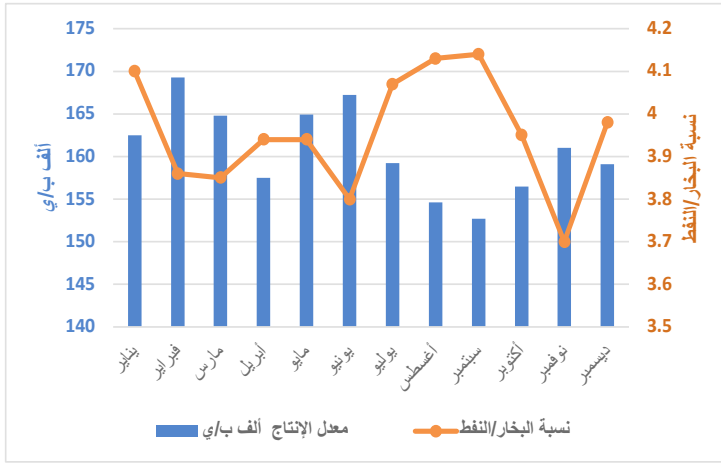
بدأت أولى التجارب الحقلية Ethel Pilot عام 1964، واستمرت حتى 1970، حيث تم تحفيز الطبقات عبر 8 دورات للبخار، بمعدل 3000-5000 برميل من البخار لكل دورة. وقد حقن الغاز مع البخار في 7 دورات، بينما حقن الماء مع البخار في دورتين، ووصلت فترة الانتظار إلى 5 أيام، ولم يبد أن تلك الإضافات من ماء وغاز ساهمت في أي تحسين لأداء العملية برمتها [93].

وتشير ورقة (Vlttoratos et al، 1990) [94] إلى وجود أكثر من 900 بئر في الحقل حتى عام 1988، كانت تنتج مجتمعة 88 ألف ب/ي، وبلغ معدل حقن البخار 225 م³/ي أي ما يعادل 1415 ب/ي من الماء.

وتذكر شركة Imperial Oil على موقعها الرسمي [95] أنها تدير امتيازاً ضمن المنطقة يمتد على مساحة 780 كم مربع، وقد ساهمت تقنيات الحقن الدوري للبخار في رفع معامل الاستخلاص

من 20% في منتصف التسعينات، ليصل إلى 50% حالياً، ويبلغ معدل إنتاجها اليومي نحو 160 ألف ب/ي. يبين الشكل- 23 معدل الإنتاج اليومي من مشروع شركة Imperial Oil خلال عام 2016، كما يوضح نسبة البخار إلى النفط التي بلغت حوالي (4) خلال العام، ووصل عدد الآبار العاملة في الحقل إلى 3459 بئراً حتى شهر كانون الأول/ديسمبر 2016.^[96]

الشكل- 23: معدل الإنتاج اليومي من مشروع Imperial Oil في Cold Lake خلال عام 2016



المصدر: Oil and Sands Magazine، 2018.

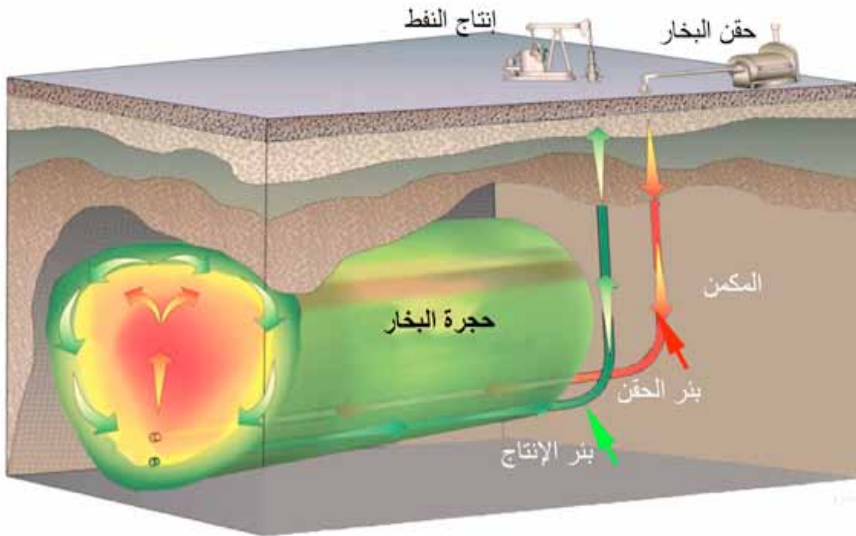
5-4-2 الإنتاج بدفع الجاذبية المعززة بالبخار

كون هذه التقنية مستخدمة في إنتاج النفط من رمال النفط في كندا، فلا بد من بعض التفصيل عنها. تذكر هيئة الطاقة الوطنية NEB الكندية أن الاحتياطي الأعظمي المحتمل في كندا يبلغ 339 مليار برميل، يشكل النفط التقليدي 10% منها فقط^[97]. أما احتياطيات كندا المؤكدة من البيتومين (رمال القار) فتزيد عن 165 مليار برميل، منها 24 مليار برميل يتم العمل على تطويرها. بينما يقدر أن احتياطيات كندا المؤكدة من النفط التقليدي لا تزيد عن 5 مليار برميل. لذلك تشكل رمال القار والبيتومين الهدف الأهم لهذه التقنية وغيرها من التقنيات الحرارية في كندا.

عند تطبيق هذه التقنية، وللحفاظ على استمرارية عملية الحقن والإنتاج، يتم عادة استخدام بئرين، يحقن البخار في أحدهما (البئر الأعلى) حتى تتشكل منطقة مشبعة تدعى حجرة البخار

Steam Chamber التي تتمدد عمودياً وأفقياً مع الزمن، ومع متابعة الحقن يتحرك البخار نحو أطراف الحجرة محرراً حرارته الكامنة إلى الصخور بينما يتكثف (Vista Projects، 2016) [98]، كما هو موضح في الشكل- 24. ويتم الإنتاج من خلال بئر يتوضع تحت بئر الحقن (البئر الأسفل)، وهذا هو فحوى التسمية لهذه التقنية، فالبخار يخفض لزوجة النفط، والجاذبية تحركه نحو بئر الإنتاج.

الشكل- 24: شكل تخطيطي للإنتاج بدفع الجاذبية المعززة بالبخار



المصدر: Vista Project، 2016.

تستفيد تقنية الإنتاج بدفع الجاذبية المعززة بالبخار عملياً من وجود الشقوق في صخور المكمن، حيث يجري حقن البخار مباشرة في المناطق المتشققة، وتقوم الشقوق بوظيفة تشبه وظيفة المشع الحراري Radiator، حيث ترتفع درجة حرارة الصخور، فتسخن النفط الموجود في الشقوق مما يخفض لزوجته بمعدل قد يصل إلى 100 مرة أقل من اللزوجة الأولية، وهذا ما يسمح للنفط بالحركة نحو الشقوق، وهنا يأتي دور الجاذبية في جريان النفط نحو الأسفل حيث يتم إنتاجه. عموماً تعتبر نوعية النفط وخواص المكمن من أهم العوامل في نجاح المشاريع التي تستخدم هذا النوع من التقنية. حيث تقدم هذه التقنية أفضل نتيجة في المكمن عالية النفاذية، التي

لا توجد فيها نطاقات كثيمة. وكذلك في الطبقات السميكة لأن السماكة تساهم في تحديد جبهة السحب الأعظمي Maximum Drainage Head من جهة، كما تحد من ضياع الحرارة إلى النطاقات المجاورة من جهة أخرى. إضافة إلى أن التشبع المرتفع بالنفط يعني أن كمية أكبر من النفط يمكن إنتاجها باستخدام نفس كمية الطاقة.

ورغم أن المنظور العام يبدو بسيطاً، إلا أن استخدام تقنية الإنتاج بالجاذبية المعززة بدفع البخار يحتاج إلى إعداد مرافق سطحية لا يستهان بها مما يجعل من المنظور الاقتصادي للعملية مرتبطاً بالوقت والتكلفة المتعلقة به. فعلى سبيل المثال، تذكر شركة Vista Projects أن تطوير المرافق السطحية في أحد مشاريع منطقة Christian Lake في ألبرتا استغرق نحو 4 سنوات خلال سعيها لرفع الطاقة التصميمية لأحد المشاريع من 60 ألف ب/ي، إلى 100 ألف ب/ي.

كما أن مشروعاً آخر لنفس الشركة في نفس المنطقة يسعى لرفع الطاقة التصميمية من 100 ألف ب/ي، إلى 150 ألف ب/ي، بدأ في عام 2008، ولا زال العمل قائماً، أي أن عملية التطوير احتاجت حتى اليوم إلى نحو 10 سنوات (Vista Project، 2010) [99]. يبين الجدول- 9 بعض المشاريع المقترحة وأخرى يتم العمل عليها في مقاطعة ألبرتا الكندية (AG، 2018) [100]. يلاحظ أن بيانات الإنتاج المتوقع متوفرة لثلاثة عشر مشروعاً من أصل ستة عشر، ويبلغ مجموع الإنتاج المتوقع منها 744.5 ألف ب/ي، لكن كلفتها تزيد عن 22 مليار دولار (*).

كما يلاحظ أن تكلفة إضافة برميل واحد إلى الإنتاج تختلف بشكل كبير من مشروع لآخر، وتتراوح بين 3.9- 82.7 ألف دولار/ البرميل، بينما تبلغ الكلفة الوسطية في إجمالي المشاريع نحو 26.3 ألف دولار/ البرميل.

(* التكلفة في الجدول الأساسي بوحدة الدولار الكندي الذي يساوي حوالي 0.78 دولار أمريكي.

الجدول- 9: بعض المشاريع القائمة والمقترحة لاستخدام تقنية الإنتاج بالجابذبية المعززة بدفع البخار في ألبرتا

الإنتاج المتوقع ألف ب/ي	الوضع الحالي	المدة	الكلفة التقديرية مليار دولار	المشروع
3	مقترح		0.23	Salesk
5	العمل جارٍ	2018-2012	0.41	West Ells' Phases 1 and 2
10	مقترح		0.30	Rigel Oil Sands
12.5	مقترح	2022-2019	0.49	Taiga Oil Sands
20	مقترح	2021-2019	0.08	Blackrod SAGD Phase 1
40	العمل جارٍ	2012-2020	1.56	Foster Creek Expansion
40	العمل جارٍ	2020-2015	1.05	Kirby North Phase 1
40	مقترح	-2018	0.59	Lindbergh SAGD Expansion
50	مقترح	2022-2019	1.56	Cold Lake (Midzaghe)
80	مقترح	2023-2019	1.17	Meadow Creek East SAGD
130	مقترح	-2019	1.25	Narrows Lake In Situ
150	مقترح	2022-2018	3.12	Aspen
164	مقترح	2023-2019	7.80	MEG May River
-	العمل جارٍ	2012-2019	2.11	Christina Lake Thermal Expansion
-	مقترح		0.05	Lewis SAGD
-	مقترح	-2019	0.41	Saleski Pilot Expansion

المصدر: Alberta Gov.، 2018

يقود ذكر تكلفة العمل على هذا النوع من المشاريع إلى التفكير في كلفة توليد البخار ورفع درجة حرارته، ذلك أنه من الناحية النظرية كلما ارتفعت درجة حرارة البخار، كلما كانت فعالية التسخين أعلى. لكن الحدود الاقتصادية تقف لهذه الفكرة بالمرصاد، إذ أن تسخين البخار لدرجات مرتفعة من الحرارة يحتاج عملياً إلى كمية أكبر من الطاقة، وهو ما قد يكون غير مبرر من ناحية الجدوى الاقتصادية للعملية، وذلك بصرف النظر عن النقاط الفنية التي تنظر في شأن استخدام معدات جوفية بئرية تتحمل درجات الحرارة العالية.

ولتجاوز هذه النقاط، سعت سلطنة عمان إلى استخدام الطاقة المتجددة لتوليد البخار وتوفير كلفة الغاز المستخدم لعمليات التسخين، وهو ما يبينه المثال التالي:

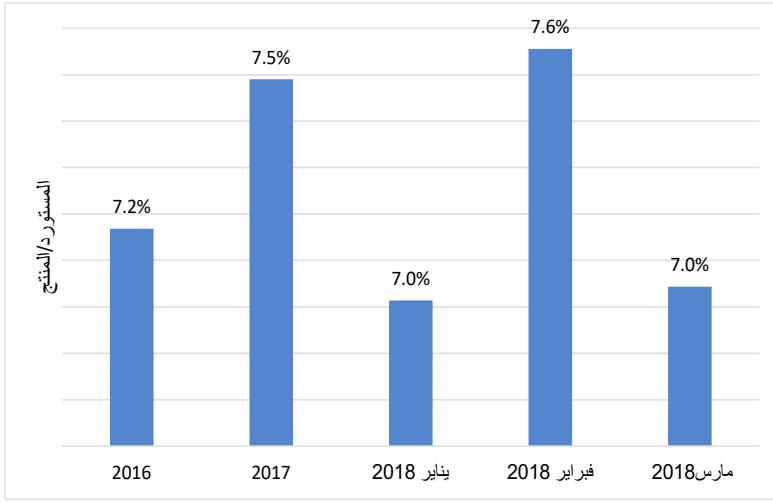
2-4-5-1 الإنتاج بالغازية المعززة بدفع البخار في حقل أمل في عُمان

يشير تتبع كميات الغاز المستخدم في حقول النفط العمانية حسب بيانات النشرة الإحصائية الشهرية لوزارة الاقتصاد الوطني (المركز الوطني للإحصاء والمعلومات) خلال السنوات العشر الممتدة بين 2008-2017، إلى أن تلك الكميات تمثل نحو 21.3% من إجمالي الغاز المنتج والمستورد في البلاد^[101]، وهي كميات يستخدم الكثير منها في عمليات الاستخلاص المحسن حسب ما تذكره شركة (Glass Point)^[102] التي تولت مشروع توليد البخار بالطاقة الشمسية في حقل أمل.

يبين الشكل- 25 النسب الوسطية لاستخدام الغاز كوقود في الحقول في عُمان، والتي بلغت 7.2% عام 2016، و7.5% عام 2017، بينما شكلت وسطياً 7.2% خلال الأشهر الثلاثة الأولى من عام 2018.

بدأت شركة "تنمية نفط عمان" في إجراء تجارب حقن البخار في حقل "أمل" منذ عام 2007، وفي عام 2009 عممتها على مشروع تطوير واسع النطاق في الحقل ليصبح حقل "أمل غرب" الموقع الرابع لمشاريع الاستخلاص المحسن للنفط في عُمان، بعد مشروع حقن البوليمر في حقل "مرمول"، ومشروع الحقن بالغاز القابل للامتزاج في حقل "هريول"، ومشروع حقن البخار في حقل "قرن علم". وخلال مساعي عُمان للحد من استخدام الغاز كوقود في الحقول، تبنت فكرة استخدام الطاقة الشمسية لتوليد البخار اللازم لعمليات الاستخلاص المحسن، وذلك عبر مشروع "مرأة"، والذي من المخطط أن يوفر 5.6 تريليون وحدة حرارة بريطانية في السنة، أي ما يعادل حوالي 156.8 مليون متر مكعب من الغاز (نحو 0.9 مليون م³ ن). كما أنه سيحد من إصدار 300 ألف طن سنوياً من غاز ثاني أكسيد الكربون.

الشكل- 25: نسبة الغاز المستخدم في الحقول العمانية إلى إجمالي الغاز المنتج والمستورد



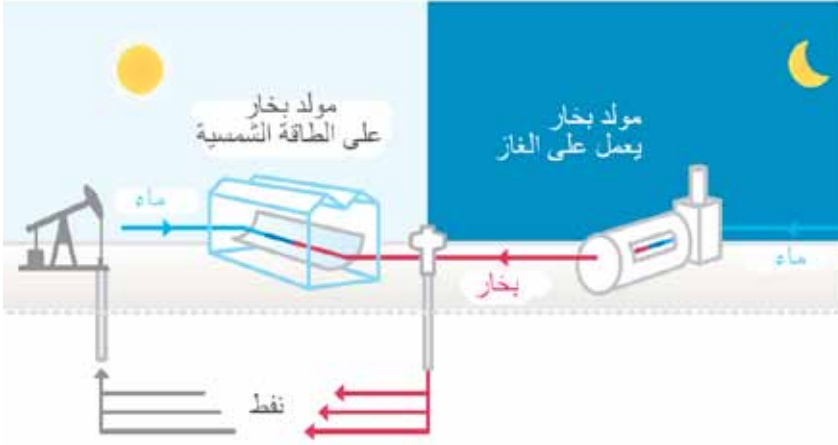
المصدر: إدارة الشؤون الفنية أوابك، بناء على بيانات النشرة الإحصائية الشهرية لوزارة الاقتصاد الوطني

يوضح الشكل- 26 مبدأ فكرة تقنية استخدام الطاقة الشمسية لتوليد البخار في عمليات الاستخلاص المحسن كما تبينها شركة Glass Point [103]، ويلاحظ منه وجود مولد احتياطي للبخار يعمل على الغاز لموازرة المولد العامل على الطاقة الشمسية، ذلك أن الطاقة الشمسية تكفي لتوليد نحو 80% من البخار اللازم، بينما يتم استخدام الغاز خاصة خلال الليل للمحافظة على سير عملية توليد وحقق البخار.

يعتبر مشروع "مرأة" في حقل "أمل" أحد أكبر محطات الطاقة الشمسية في العالم، حيث تبلغ استطاعته المركبة 1.021 ميغا واط، ويمكنه توليد 6000 طن من البخار يومياً.

ويبين الشكل- 27 صورة بانورامية للمشروع، حيث تبلغ المساحة الكلية للمحطة 3 كم مربع، بينما تبلغ مساحة الحقل الشمسي 1.9 كم مربع. وقد بدأ المشروع عملياً في توليد البخار في أواخر عام 2017 حسبما ذكرته شركة تنمية نفط عمان (PDO، 2017) [104].

الشكل- 26: مخطط استخدام الطاقة الشمسية لتوليد البخار للاستخلاص المحسن



المصدر: Glass Point، 2018

الشكل- 27: صورة بانورامية لمشروع مرآة في حقل أمل غرب في عُمان



المصدر: Glass Point، 2018

ومن الجدير بالذكر أن هذه التقنية تستخدم في أماكن أخرى من العالم، ومنها حقل Belridge في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، وهو ينتج منذ أكثر من مئة عام، وقدر إنتاجه في عام 2018 بنحو 80 ألف ب/ي من النفط الثقيل. وقد بدأت عمليات حقن البخار في الحقل منذ ستينيات القرن الماضي. وفي محاولة للحد من تكاليف الإنتاج، تم اللجوء إلى خطة لتوليد البخار من الطاقة الشمسية، عبر مشروع محطة شمسية بطاقة 850 ميغا واط، يمكنها توليد 12 مليون برميل بخار

سنوياً، ويقدر أن المشروع سيحد من إصدار نحو 376 ألف طن من غاز ثاني أكسيد الكربون سنوياً، وسوف يساهم في ردد الإنتاج بنحو 33 ألف ب/ي من النفط^[105].

2-4-5 الاستخلاص البكتيري

يعتمد مبدأ هذه التقنية على استخدام الأحياء الدقيقة ونواتج استقلالها، حيث يمكن الحصول منها على منشطات التوتر السطحي والبوليمرات والمذيبات والغازات والأنزيمات، وهي من حيث المبدأ نفس المواد الكيميائية التي تستخدم في عمليات الاستخلاص البترولي المحسن، لكنها في هذه الحالة تنتج عن نشاط البكتيريا في المكمن، أي أن معدلها أقل في المكمن وتحتاج إلى فترة طويلة حتى تتكون مقارنة بعمليات الحقن المباشر. ويتم عادة حقن مواد مغذية مثل دبس القصب (المولاس) للمساهمة في تغذية البكتيريا في المكمن.

ورغم عدم ذبوع صيت هذه التقنية، إلا أن التفكير في استخدامها والتجارب الأولية عليها تعود في الواقع إلى مطلع القرن العشرين، وتستند التقنية إلى أن البكتيريا يمكنها أن تخمر النفط لتنتج غازات مثل CH_4 ، و CO_2 ، و H_2 . وهذه الغازات المنتجة ضمن المكمن تساهم في رفع الضغط، كما يمكن أن تحل في النفط وتخفف لزوجه. وتنتج البكتيريا أيضاً حموضاً مثل حمض الخليك^(*) (Acetic) وحمض البروبيونيك^(†) (Propionic)، إضافة إلى الأسيتون، والإيثانول. ومن الممكن أن تعمل الحموض على إذابة الصخور الكربوناتيّة مما يرفع من نفاذية المكمن.

وقد تبدو الصورة الأولية لاستخدام البكتيريا جميلة مشرقة، لكن هناك بعض المحاذير التي قد تشكل حجرة عثرة أحياناً، وخاصة عند وجود البكتيريا المختزلة للكبريت (Sulfate-reducing bacteria)، ويكون غاز كبريتيد الهيدروجين ناتج الأيض (Metabolism) الرئيسي لها، حيث يؤدي وجود هذا الغاز إلى رفع حموضة المكمن، إضافة إلى آثاره الأخرى المعروفة على تآكل المعدات وخطورته على الحياة. وتعرف هذه البكتيريا بقدرتها على الصمود بدون غذاء لفترة طويلة جداً، فيصبح أحجمها أقل فأقل، مما يجعلها قادرة على المرور عبر المسامات الدقيقة

(*) CH_3COOH

(†) $C_3H_6O_2$

للصخور. وعند تلوث البئر بها (خاصة لو تم استخدام مياه البحر في بعض عمليات الحقن)، فإنها تنتعش وتبدأ دورة حياتها ثانية جالبة على المكمن من المشاكل ما لا تحمد عقباه.

كما أن هناك عدة معايير لاستخدام هذه التقنية تتعلق بالخواص الفيزيائية والكيميائية للمكمن وللنفط الموجود فيه، ذلك أن البكتيريا مثلها مثل باقي الكائنات تحتاج ظروف خاصة لتتمكن من القيام بعملياتها الحيوية، وعند عدم توفر هذه الظروف فإن نشاطها وفعاليتها المتوخاة تنخفض، بل إن بعض أنواعها قد تموت في حال اختلاف الوسط المناسب لها.

يلخص **الجدول- 10** بعض هذه المعايير:

الجدول- 10: الحدود المناسبة لحقن البكتيريا في المكامن النفطية

الحدود المناسبة	المعيار
أقل من 93.3	الحرارة / درجة مئوية
أعلى من 50	النفاذية / ميلي دارسي
أعلى من 15	جودة النفط / API°
10 - 5	حموضة الوسط pH
أقل من 180,000	الملوحة /جزء بالمليون
أقل من 15	الزئبق، النيكل، الزرنيخ، السيلينيوم/جزء بالمليون
أقل من 1000	كبريتيد الهيدروجين /جزء بالمليون

حمش، 2009.

أما الظروف المثالية لاستخدام البكتيريا في المكامن، فهي أكثر صرامة، ويبينها **الجدول- 11**.

الجدول- 11: الحدود المثالية لحقن البكتيريا في المكامن النفطية

الحدود المناسبة	المعيار
أقل من 65.5	الحرارة / درجة مئوية
أعلى من 150	النفاذية / ميلي دارسي
أعلى من 20	جودة النفط / API°
أعلى من 15	حموضة الوسط pH
50 - 5	الملوحة /جزء بالمليون
8 - 5	الزئبق، النيكل، الزرنيخ، السيلينيوم/جزء بالمليون
أقل من 10,000	كبريتيد الهيدروجين /جزء بالمليون
أقل من 15	الحرارة / درجة مئوية
أقل من 1000	النفاذية / ميلي دارسي

حمش، 2009.

يبين الجدول- 12 نتائج تجربة حقلية أجريت عام 1990 على حقل أمريكي باستخدام تقنية حقن البكتيريا (Sen، 2008) [106]، ويلاحظ من الجدول أنه رغم تواضع معدل الإنتاج من البئر الواحد، إلا أن الرقم كنسبة يعبر عن زيادة إضافية في معدل الإنتاج تمثل 20% بعد حقن البكتيريا.

الجدول- 12: نتائج تجربة حقن البكتيريا في حقل Chelsea-Alluwe

الحقل	Chelsea-Alluwe
نوع التشكيلة	رملية
العمق (م)	122
النفاذية (ميلي دارسي)	16
نسبة الملوحة (%)	2.9
لزوجة النفط (سنتي بواز)	6
عدد آبار الحقن	19
عدد آبار الإنتاج	47
المادة المغذية	المولاس (دبس القصب)
نوع البكتيريا	Bacillus, Clostridium
المواد الناتجة عن الأيض	منشطات توتر سطحي، حموض، غازات
فترة الاختبار	سنة ونصف
معدل الإنتاج قبل استخدام البكتيريا	1 ب/ي لكل بئر
معدل الإنتاج بعد استخدام البكتيريا	1.2 ب/ي لكل بئر
النتيجة	زيادة معدل الإنتاج بنسبة 20%

2008، Sen

2-4-5-1 الاستخلاص البكتيري في حقل Saskatchewan الكندي

اكتشف الحقل عام 1952، وطبقت تقنية حقن المياه فيه عام 1967، حيث قدر الاحتياطي الجيولوجي في الحقل بأكثر من 72 مليون برميل من النفط (22 - 24 °API).

تتراوح المسامية في المكن بين 15.2 - 21.5%، وتتراوح النفاذية بين 53 - 567 ميلي دارسي، وينتج من ثلاثة نطاقات يبلغ مجموع سماكتها الفعالة 5.8 م. يقع المكن على عمق 1200 م وتبلغ درجة حرارته 47° مئوية، ويزيد إجمالي العناصر المنحلة في المياه المنتجة عن 10,000 ملغ/ل، وأنتج حتى عام 2010 نحو 21 مليون برميل تعادل حوالي 29% من الاحتياطي الجيولوجي، بمعدل إنتاجه اليومي 391 ب/ي من النفط، مع 8190 ب/ي من الماء، إضافة إلى

4250 م³/ي من الغاز. وتشير دراسة أعدها (Town et al، 2009) [107] إلى أن استخدام التقنية بدأ على مراحل كان أولها التحضير المخبري للمواد المغذية المناسبة للبكتيريا، ثم بدأت عمليات الحقن بالتدرج على عدة آبار.

يبين الجدول- 13 سير عملية المعالجة ونتائجها على البئر A بعد 488 يوماً من وضع البئر على الإنتاج.

الجدول- 13: نتائج الاستخلاص البكتيري في البئر A في كندا

8	المواد المغذية (برميل)
170	مياه الإزاحة (برميل)
7	مدة إغلاق البئر (يوم)
8	إنتاج النفط قبل المعالجة (ب/ي)
26	إنتاج النفط بعد المعالجة (ب/ي)
94	الإماهة قبل المعالجة (%)
80	الإماهة بعد المعالجة (%)
14	إنتاج النفط بعد 488 يوم (ب/ي)
90	الإماهة بعد 488 يوم (ب/ي)
3150	النفط الإضافي بعد 488 يوم (ب/ي)

2009، Town et al

وتبين الدراسة أن تطبيق تقنية الاستخلاص البكتيري ساهم في تقديم العديد من الفوائد الاقتصادية ليس عن طريق رفع معدل الإنتاج فقط، بل من خلال رفع معامل الاستخلاص أيضاً. إضافة إلى أن انخفاض الإماهة يعني الحد من كميات الماء المنتج مع النفط وهذا ما ساهم في تقليص تكاليف الإنتاج للبرميل الواحد. وهذه العوامل مجتمعة شاركت في زيادة عمر الحقل، وبلغت الكلفة الإضافية لإنتاج البرميل الواحد نحو 6 دولار.

ويمكن القول عموماً إن تقنية استخدام البكتيريا في الاستخلاص المحسن للنفط تمثل تقنية صديقة للبيئة تستخدم موارد وتقنيات التكنولوجيا الحيوية التي يمكن من الناحية النظرية على الأقل توظيفها لاستبدال وتعزيز عمليات الاستخلاص المحسن التقليدية في الأماكن التي تناسبها هذه التقنية. لكن هناك العديد من الأسباب التي تعيق تطبيقها، مثل عدم تجانس الإنتاج من مختلف

الآبار في المكنم، والقيمة المنخفضة نسبياً لمعامل الاستخلاص الأعظمي المتوقع، وعدم اليقين المرتبط بتلبية معايير التصميم الهندسي للعملية برمتها. إضافة إلى التخوف (المبرر) من التلاعب بالبيئة الحيوية ونشاط المستعمرات البكتيرية في المكنم، وما ينطوي عليه ذلك من مخاطر قد يكون لها تأثير سلبي على الإنتاج. كما لا يستبعد ظهور فصائل بكتيرية متحورة قد يكون لها أثر صحي على البشر وباقي المخلوقات القريبة من مواقع الإنتاج، خاصة مع ظهور بعض التجارب على استخدام أنواع معدلة وراثياً من البكتيريا.

لمحة عن اقتصاديات الاستخلاص المحسن

كحال أي مشروع آخر، لن يتم الشروع باستخدام تقنيات الاستخلاص المحسن ما لم يكن لها عائد اقتصادي. وقد كان للتراجع الكبير في أسعار النفط منذ عام 2014 تأثير بارز على مختلف مناحي الصناعة البترولية، ونال الاستخلاص البترولي المحسن حظه من هذا التأثير سواء بشكل مباشر أو غير مباشر، فمن خلال سعيها للخروج من تحت مظلة انخفاض الأسعار عملت الشركات البترولية على رفع كفاءة عملها قدر الإمكان، لكنها عملت في النفس الوقت نفسه على خفض النفقات الرأسمالية والتشغيلية قدر المستطاع لإنقاذ ما يمكن إنقاذه من أرباحها.

إلا أن هذه الاستراتيجية التي تعتمد على تقديم أداء أفضل بتكاليف أقل، تحمل في طياتها مخاطر لا يستهان بها، إذ ابتعدت العديد من مراكز الأبحاث عن فكرة تمويل المشاريع التي لا تظهر نتائجها على هيئة أرباح سريعة، ومنها مشاريع الاستخلاص المحسن التي قد تحتاج لسنوات قبل أن يظهر تأثيرها على حقل ما.

في المقابل تبرز بعض الآراء التي تدعو إلى استثمارات طويلة الأجل في هذا المجال، وتظهر النرويج (NPD، 2017) [108] كمثال واضح هنا حيث دعت "إدارة البترول النرويجية" في مطلع عام 2018 كل الشركات العاملة ضمن حدودها إلى استخدام تقنيات تتيح إنتاج المزيد من النفط والغاز مبينة أن تقنيات الاستخلاص المحسن يمكن لها أن تساهم في ردد الإنتاج النرويجي بما يتراوح بين 2-5 مليار برميل مكافئ نفط.

ولا شك أن النرويج على دراية بأن تقنيات الاستخلاص المحسن سوف ترفع من تكاليف الإنتاج، لكن انخفاض الإنتاج في البلاد إلى قرابة النصف (من 3.2 مليون ب/ي عام 2000 إلى 1.6 مليون ب/ي عام 2017) يبرر مسعى النرويج نحو استخدام هذه التقنيات، خاصة أن احتياطاتها المؤكدة حالياً تزيد عن 6 مليار برميل. وفي مقال نشرته إدارة البترول النرويجية على موقعها الإلكتروني الرسمي في منتصف عام 2017، بينت أن معامل الاستخلاص من حقولها في الرصيف القاري بلغ وسطياً 47%، مما يعني أن 53% من احتياطاتها الممكنة لا تزال تقع في المكامن بانتظار إنتاجها.

كما تعمل كندا بدورها على استثمارات طويلة الأجل في مشاريع الاستخلاص البترولي المحسن (Alberta Government) [109]، فمشروع Meadow Creek East، في Wood Buffalo الذي تلقى الموافقة من حكومة ألبرتا في 2017/3/27، يتوقع أن ينتج 80 ألف ب/ي، لكن استثماراته تبلغ 1.5 مليار دولار، ومن المخطط أن يبدأ العمل عليه في عام 2019، ويتم إنجازه عام 2023.

وبالرغم من أن المنظور الاقتصادي الحالي يحد من الانتشار الواسع لعمليات الاستخلاص البترولي المحسن، فإن بعض جهات النظر المتفائلة تميل إلى أن سوق الاستخلاص المحسن ربما يكون واحداً من الأسواق التي ستشهد انتعاشاً رغم أسعار النفط السائدة حالياً. فحتى عند انخفاض سعر النفط إلى حدود 50 دولار/البرميل، بقيت بعض المؤسسات البحثية ترى أن أهمية الاستخلاص المحسن أكبر من أن يتم التغاضي عنها. ومن الممكن دعم رأي المتفائلين في هذا المجال بمثال عن تطبيق تقنية حقن غاز ثاني أكسيد الكربون في حقل Weyburn في كندا عام 2000 عندما كان سعر خام غرب تكساس 28 دولار/البرميل فقط، وقد وصل إنتاج الحقل عام 2007 إلى أكثر من 30 ألف ب/ي، وهو معدل لم يشهده الحقل منذ اكتشافه في مطلع سبعينات القرن الماضي. وقد استفاد المشروع من اصطيد غاز ثاني أكسيد الكربون من محطة عاملة على الفحم الحجري في ولاية شمال داكوتا، حيث يتم تسيله ونقله عبر خطوط الأنابيب لمسافة 320 كم، وتم لاحقاً حقن 8500 طن/ي من الغاز ضمن مكامن الحقل (PTRC، بدون تاريخ) [110].

لكن هذا لا يفي بدوره أن أسعار النفط ربما تمثل عائقاً أمام بعض المشاريع، وبالعودة إلى تقنية حقن البوليمير في الصين التي تعتبر الرائدة في العالم في مجال الإنتاج عبر حقن المواد الكيميائية، يلاحظ أنها شهدت تراجع إنتاجها في عام 2016 بنسبة تقارب 6% بعد تهاوي أسعار النفط إلى 45.1 دولار/البرميل خلال ذلك العام (أوابك، 2017) [111]. وربما كان السبب الرئيسي لذلك التراجع هو انخفاض حجم الإنتاج من حقن Daqing. ومع أن انخفاض الإنتاج بحد ذاته ربما كان خطوة استراتيجية من الصين بسبب تراجع أسعار النفط، إلا أن هذه الخطوة قد تعني أن حقن المواد الكيميائية ربما يكون غير مجدٍ اقتصادياً عندما تقل أسعار النفط عن 50 دولار/البرميل (BMI، 2017) [112].

وبين تقرير لمركز أبحاث BCC الأمريكي* أن سوق الاستخلاص البترولي المحسن بلغت قيمتها 22.9 مليار دولار عام 2016، بينما يتوقع لها أن تنمو إلى 30.4 مليار دولار عام 2021 (Eckard، 2017) [113]. وأشار التقرير إلى أن أضخم سوق إقليمية في هذا المجال هي سوق أمريكا الشمالية (الولايات المتحدة والمكسيك وكندا) التي بلغت قيمتها 9.6 مليار دولار عام 2016، ويتوقع أن تصل إلى 13.2 مليار دولار عام 2021، بينما بلغت قيمة سوق أمريكا الجنوبية 3.2 مليار دولار عام 2016، ويتوقع أن تصل إلى 4.3 مليار دولار عام 2021. أي أن نحو 56% من قيمة سوق الاستخلاص البترولي المحسن تتوزع بين هاتين المنطقتين من العالم.

ولا ريب أن أسعار النفط كانت ولا تزال تشكل العامل الرئيسي في اتخاذ قرار الاستثمار في هذا النوع من المشاريع، فقد عملت تقنيات الاستخلاص المحسن خلال العقود الثلاثة المنصرمة على رفع كميات النفط المنتجة في الولايات المتحدة بشكل لا يخفى على العيان، إذ ساهمت تقنية حقن غاز ثاني أكسيد الكربون في إنتاج 25 ألف ب/ي عام 1986، بينما وصل المعدل إلى أكثر من 275 ألف ب/ي في عام 2012، وساهم وصول سعر النفط إلى أكثر من 100 دولار/البرميل في تحفيز السير في هذا المجال، وارتبطت العديد من الشركات بعقود طويلة الأجل للحصول على غاز ثاني أكسيد الكربون بكلفة 2% من سعر البرميل.

(*) مؤسسة خاصة تعنى بالأبحاث الاقتصادية المتعلقة بتحليل الأسواق على اختلاف مشاربها، تأسست عام 1971.

وعندما تباطأت عجلة نمو هذا النوع من التقنيات منذ عام 2016 بعد أن كبح جماحها تراجع الأسعار، أصبحت تلك الشركات في وضع لا تحسد عليه، وباتت العقود طويلة الأجل تشكل عبئاً على ميزانياتها. بينما تمكنت بعض الشركات التي تمتلك مصادر لها الخاصة من غاز ثاني أكسيد الكربون من متابعة مشاريعها دون عوائق (Walzel، 2017).

تبع ذلك سعي العديد من المؤسسات لبيع مشاريعها العاملة في الحقول الناضجة بدل البحث في شأن تطبيق تقنيات الاستخلاص المحسن، وغالباً ما كانت الشركات التي تشتري هذا النوع من المشاريع هي تلك التي تمتلك المعرفة والخبرة الكافيتين في هذا المجال، إضافة إلى امتلاك البنية التحتية اللازمة القادرة على التعامل مع تقلبات السوق، بحيث يمكنها تحقيق أرباح من تلك المشاريع ضمن مختلف نطاقات الأسعار.

فعلى سبيل المثال ذكرت شركة Hess على موقعها الرسمي^[114] أنها باعت حصصها في مشروع للاستخلاص المحسن في حوض Permian مقابل 600 مليون دولار، وكانت تلك خطوة أضافت نحو 8200 ب م ن/ي إلى إنتاج شركة Occidental Petroleum التي اشترت الحصص. وأعلنت شركة Chaparral Energy في أواخر عام 2017 (والتي كانت مهددة بشبح الإفلاس) أنها باعت أصولها في ثمانية مشاريع لحقن غاز ثاني أكسيد الكربون^[115] في ولاية أوكلاهوما الأمريكية بمبلغ 170 مليون دولار.

وفي عام 2015 اشترت شركة Fleur de Lis Energy حصص شركة Anadarko في مشروع لحقن غاز ثاني أكسيد الكربون في ولاية Wyoming ينتج نحو 14 مليون ب م ن/ي، وذلك مقابل 703 مليون دولار. وتضمنت الصفقة خط أنابيب لنقل غاز ثاني أكسيد الكربون بطاقة 7.6 مليون م³/ي^[116]. كما اشترت نفس الشركة في شهر آب/أغسطس 2016 حصص Devon Energy في مشروع في حوض Permian بقيمة 422.5 مليون دولار، واشترت في شهر أيلول/سبتمبر 2016 حصص Summit Energy في نفس المشروع مقابل 75 مليون دولار^[117].

تعطي عمليات البيع والشراء المذكورة لمحة عن أهمية تقنيات الاستخلاص المحسن حتى في الحقول الناضجة أو في تلك الحقول التي أنتجت بتقنية الإفاضة بالمياه وانخفض مردودها، وفي هذا المقام يمكن الإشارة إلى حقل SACROC في حوض Permian الذي يمتد على مساحة تزيد عن 200 كم مربع. اكتشف الحقل عام 1948، وقدرت احتياطياته الجيولوجية بنحو 2.8 مليار برميل. وكان الحقل الأول في الولايات المتحدة الأمريكية الذي طبقت فيه تقنية حقن غاز ثاني أكسيد الكربون منذ عام 1972. حقن في الحقل منذ ذلك التاريخ أكثر من 175 مليون طن من غاز ثاني أكسيد الكربون. وبالرغم من الاحتياطي الجيولوجي الكبير فإن إنتاج الحقل لم يتجاوز 8000 ب/ي في عام 2000، وعندها اشترته شركة Kinder Morgan التي ساند قرارها امتلاكها لحقل من غاز ثاني أكسيد الكربون. وقد عملت الشركة على تعديل نماذج توزيع آبار الحقن مما ساهم في رفع إنتاج الحقل إلى 30 ألف ب/ي، وتمكنت من الحفاظ على ذلك المعدل لأكثر من عشر سنوات، كما تمكنت من رفع الإنتاج في عام 2014 إلى 38 ألف ب/ي، ثم تراجع الإنتاج لاحقاً إلى 30 ألف ب/ي (Walzel، 2017).

يمكن مما سبق ملاحظة أن أهم تحدٍ أمام تطبيق تقنية حقن غاز ثاني أكسيد الكربون يتمثل في توفير ما يكفي من الغاز، ويلاحظ أن الشركات التي تمتلك مصادر خاصة منه تمكنت من الاستمرار في تطبيق هذه التقنية رغم تذبذب أسعار النفط.

كما يلاحظ أن كل المشاريع التي تم ذكرها كانت على اليابسة، فماذا عن مشاريع الاستخلاص المحسن في المغمورة؟

عند البحث في هذه النقطة لوحظ أن معظم تقنيات الاستخلاص المحسن ومعايير اختيارها تركزت على اليابسة لعدة أسباب، من أهمها:

- الكلفة المنخفضة نسبياً مقارنة بالمشاريع في المغمورة.
- المخاطر المرتفعة وتعقيد إعداد البنية التحتية في المغمورة.
- الكلفة المرتفعة لعمليات النقل في الحقول البعيدة عن الشاطئ.

○ القوانين البيئية التي تحد من عمليات التخلص من المخلفات مثل المياه المنتجة أو المستحلبات أو المواد الكيميائية. وربما يكون التخلص من المخلفات عبر نقلها إلى اليابسة خياراً معقولاً عندما تكون كمياتها قليلة، لكنه بالتأكيد خيار غير مطروح عندما تكون كمية المخلفات كبيرة.

○ حرق الغاز أو تنفيسه إلى الجو Venting أمر شائع نسبياً، إلا أن ارتفاع تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغاز المنتج قد يسبب مشاكل بيئية وصحية.

○ فضلاً عن ذلك، تشير ورقة (Kang et al، 2016) [118] التي أعدت بالتعاون بين جامعة "تكساس" وجامعة "كوريا لعلوم المسطحات المائية والمحيطات" إلى أن الكلفة المرتفعة للآبار في المغمورة تقود إلى حفر آبار بتباعد كبير Spacing، ويصل هذا التباعد في المتوسط إلى 1 كم، مما يعني أن توصيف المكامن سيترافق مع الكثير من عدم الموثوقية، كما أن نماذج الآبار (توزيع آبار الحقن والإنتاج) يصعب التحكم بها مما يجعلها بعيدة عن الحالة المثالية.

وتشير ورقة (Kang et al، 2016) أيضاً إلى أنها بنت استنتاجاتها اعتماداً على بيانات تسعة عشر مشروعاً كانت تطبق تقنيات الاستخلاص المحسن في المغمورة حتى عام 2014، وهو رقم يبدو متواضعاً مقابل 437 مشروعاً على اليابسة، لكن التحديات التي ذكرت آنفاً تبرر ذلك.

يبين **الجدول- 14** المستخلص من الورقة المذكورة أن اثني عشر مشروعاً من هذه المشاريع تركزت في بحر الشمال، ومشروعان اثنان في خليج المكسيك، وخمسة مشاريع طبقت في خليج بوهاي Bohai في الصين. كما يبين أن تسعة مشاريع تستخدم تقنية حقن الغاز القابل للامتزاج، وأربعة مشاريع تستخدم تقنية حقن الماء بالتبادل مع الغاز القابل للامتزاج (*)، وخمسة مشاريع تستخدم تقنية حقن البوليمير، بينما يعمل مشروع واحد بتقنية تدوير البخار.

(*) تويه: هذه المشاريع لا تمثل كل مشاريع الاستخلاص المحسن في المغمورة، لكنها تمثل تلك التي استخدمت في الورقة المذكورة للوصول إلى معايير اختيار التقنية الأمثل في هذا النوع من الحقول، فقد ذكر سابقاً في هذه الدراسة أن هناك تسعة مشاريع تستخدم حقن الماء بالتبادل مع الغاز في بحر الشمال.

وربما يكون من الطبيعي اللجوء إلى حقن الغاز الهيدروكربوني القابل للامتزاج في حقول المغمورة، إذ أن مصدره قد يكون من الغاز المرافق المفصول عن النفط المنتج، أو من بعض المكامن الغازية.

الجدول- 14: بعض مشاريع الاستخلاص المحسن حسب التقنية والموقع

نوع التقنية	الحقل	الموقع	تاريخ بدء المشروع
حقن غاز قابل للامتزاج	Ekofisk	بحر الشمال	1975
	Beryl	بحر الشمال	1977
	Statfjord	بحر الشمال	1979
	Brent	بحر الشمال	1981
	South Pass Block 89	خليج المكسيك	1983
	Ula	بحر الشمال	1986
	South Pass Block 89	خليج المكسيك	1989
	Alwyn North	بحر الشمال	1999
	Smorbukk South	بحر الشمال	1999
حقن الماء بالتبادل مع الغاز	Snorre (SnA)	بحر الشمال	1994
	South Bae	بحر الشمال	1994
	Ula	بحر الشمال	1998
	Magnus	بحر الشمال	2002
	SZ36-1	بوهاي	2003
حقن البولييمير	PF-B	بوهاي	2006
	PF-C	بوهاي	2007
	PF-A	بوهاي	-
	Captain	بحر الشمال	-
	-	بوهاي	2009
تدوير البخار	-	بوهاي	2009

المصدر: Lim et al، 2016

يلاحظ من خلال ما سبق أن معظم التحديات تؤول إلى العامل الاقتصادي، وبالرغم من ذلك لا تزال تقنيات الاستخلاص المحسن في المغمورة تلقى اهتماماً لا يستهان به، ذلك أن حقول المغمورة تكون ذات احتياطيات كبيرة في العادة، وهذا أمر مفهوم في ضوء التكاليف المرتفعة التي يجب تغطيتها مما يجعل الشركات تحجم عن الاستثمار في حقول صغيرة في المغمورة، وبالتالي فإن هذه الاحتياطيات الكبيرة تشكل هدفاً مغرياً لتقنيات الاستخلاص المحسن.

الخلاصة والاستنتاجات

يمكن من خلال الأمثلة التي تم استعراضها في الدراسة وضع الجدول التالي الذي يبين نتائج تطبيق بعض تقنيات الاستخلاص المحسن على عدة حقول حول العالم. ويلاحظ منه أن التقنيات المختلفة ساهمت في إضافة كميات كبيرة من النفط إلى الاحتياطيات، كما عملت على رفع معدل الإنتاج، والأهم من ذلك أنها رفعت معامل الاستخلاص من الحقول التي طبقت عليها.

نتائج تطبيق تقنيات الاستخلاص المحسن المختلفة في بعض دول العالم

النتيجة	التقنية المستخدمة	الحقل
كان الاحتياطي المؤكد عند اكتشاف الحقل: 9.6 مليار برميل. بينما بلغ الإنتاج التراكمي حتى عام 2017: 12.5 مليار برميل. ومعامل الاستخلاص 50%.	حقن الغاز الهيدروكربوني القابل للامتزاج	Prudhoe Bay، الاسكا
نقل 2.5- 3 مليار برميل من الاحتياطي الجيولوجي إلى الاحتياطي المؤكد القابل للإنتاج	حقن غاز النتروجين	Cantarell، المكسيك
رفع معامل الاستخلاص بنحو 7%، ونقل 58 مليون برميل من خزانة الاحتياطي الجيولوجي إلى خزانة الاحتياطي القابل للإنتاج	حقن غاز النتروجين	Jay في الولايات المتحدة الأمريكية
رفع معامل الاستخلاص من 2% ليصل إلى 5%.	حقن غاز ثاني أكسيد الكربون، ثم حقن هلام البوليمير لزيادة فعالية الكسح	Bati Raman، تركيا
رفع معامل الاستخلاص بنحو 20%	حقن الماء بالتبادل مع غاز ثاني أكسيد الكربون	Dollarhide، الولايات المتحدة الأمريكية
رفع معامل الاستخلاص بنحو 20%	حقن الماء بالتبادل مع غاز ثاني أكسيد الكربون	Slaughter، الولايات المتحدة الأمريكية
كان الاحتياطي القابل للإنتاج 1.2 مليار برميل، ويات 3.4 مليار برميل. رفع معامل الاستخلاص إلى 50%.	حقن الماء بالتبادل مع الغاز الهيدروكربوني	Ekofisk، النرويج
وصل معامل الاستخلاص عام 2017 إلى 66%. يتوقع أن يصل معامل الاستخلاص الأعظمي للحقل إلى 67.9%	حقن الماء بالتبادل مع الغاز الهيدروكربوني	Statfjord، النرويج
ووصل معامل الاستخلاص إلى 48.2%.	حقن الماء	Pervomaiskoye، روسيا
المعدل التراكمي لزيادة الإنتاج حتى شباط/ فبراير 2017: 400 ب/ي من 21 بئراً.	حقن الماء	البحرين

الحقل	التقنية المستخدمة	النتيجة
Daqing، الصين	حقن البوليمير	رفع الاستخلاص الأعظمي من الحقل إلى 50%
مرمول، عُمان	حقن البوليمير	إضافة 8000 ب/ي إلى الإنتاج الأساسي عام 2010
Duri، إندونيسيا	حقن البخار	تقديرات الاحتياطي الجيولوجي: 2 مليار برميل. أنتج الحقل فعلياً 2 مليار برميل عام 2008 ولا يزال منتجاً حتى اليوم.
Cold Lake، كندا	حقن البخار	رفع معامل الاستخلاص من 20% في منتصف التسعينات، ليصل إلى 50% حالياً.

المصدر: بناء على نتائج بعض الأمثلة المطروحة في الدراسة

- لوحظ من خلال تتبع التجارب العالمية هيمنة التقنيات الحرارية وحقن البخار بشكل خاص على باقي تقنيات الاستخلاص المحسن في حقول النفط الثقيل، وتبدو حظوظ تقنية حقن البخار بالتبادل مع الغاز وافرة في الحقول الكندية أكثر من غيرها.
- تعتبر تقنية حقن الغاز الهيدروكربوني من أهم التقنيات لتطوير حقول المغمورة أو الحقول التي لا تتوفر فيها البنية التحتية لنقل الغاز المرافق المنتج.
- رغم أهمية ونجاح تقنية حقن غاز النتروجين، إلا أن عدم انتشارها يعود إلى ضرورة وجود وحدات فصل باستطاعات كبيرة قادرة على تلبية متطلبات عملية الحقن.
- أثبتت تقنية حقن غاز ثاني أكسيد الكربون نجاحها في الولايات المتحدة الأمريكية أكثر من غيرها بسبب توفر مصادر طبيعية كبيرة من هذا الغاز فيها. أما مفهوم اصطياد هذا الغاز لأسباب بيئية، وإعادة حقنه كتقنية من تقنيات الاستخلاص المحسن، فلا زالت تتعثر في خطواتها الأولى.
- لم تستعرض الدراسة كل الخيارات المتاحة لتطبيق مختلف التقنيات حول العالم، لكنها بينت أهمية تطبيق تقنيات الاستخلاص المحسن ودورها في ردد الإنتاج العالمي بكميات لا يستهان بها من النفط، خاصة في ظل النمو المتزايد في الطلب على الطاقة. وبدا واضحاً خلال إعداد الدراسة أن عمليات الاستخلاص المحسن تحتاج إلى خبرات من مختلف الاختصاصات. ورغم أن العديد من التقنيات باتت ناضجة فنياً واقتصادياً، إلا أن الباب لا

يزال مفتوحاً أمام التقنيات الحديثة التي يتبناها ركب البحث والتطوير، ومنها مثلاً استخدام الأمواج فوق الصوتية لتخفيض اللزوجة في مكامن النفط الثقيل، حيث بينت التجارب المخبرية أنه يمكن تخفيض لزوجة النفط بمقدار 85% حسب الدراسة التي قام بها معهد Puyang الصيني للتقنية بالتعاون مع معهد أبحاث PetroChina، ومع جامعة الصين للعلوم الجيولوجية (Qiang et al، 2017) [119].

- تشير العديد من الدراسات والتحليل الإحصائية (Yegin et al، 2017) [120] إلى أن تقنيات الاستخلاص البترولي المحسن قد تكون السبب في إنتاج 50% من كميات النفط التي سيضخها العالم خلال 25 عاماً من اليوم. وإن صحت هذه التقديرات، فالرقم لا يمكن تجاهله في عالم تقدر الاحتياطيات الجيولوجية من النفط فيه بنحو 4263.2 مليار برميل، ويبلغ معامل الاستخلاص الواسطي فيه نحو 34%. وعند النظر إلى المنطقة العربية خاصة، يتبين أن تقديرات مصادر النفط الثقيل فيها تناهز 998 مليار برميل، وهي تشكل هدفاً واعداً وفي غاية الأهمية لتطبيق تقنيات الاستخلاص المحسن (أوابك، 2015) [121].

جدول المصطلحات

AAPG: American Association of Petroleum Geologists	جمعية جيولوجي البترول الأمريكية
Acidizing	تحميض
AGA: American Gas Association.	جمعية الغاز الأمريكية
Alkaline	قلوي
Annulus	فراغ حلقي
API	معهد البترول الأمريكي
Artificial lift	الرفع الصناعي
Associated gas	الغاز المصاحب- المرافق
Cap rocks	الصخر الغطاء
Capture	اصطياد
Carbonate rocks	صخور كربوناتية
Cased Holes	بئر مبطن
Casing	تبطين
Cementation	سمنتة
Clay	طين
Completion	إكمال
Condensate	متكثفات
Consolidation	اندماج
Contingent resources	المصادر المشروطة
Correlation	مضاهاة
Corrosion inhibitors	موانع التآكل
Crust	قشرة
Cuttings	فتات الحفر
Density	كثافة
Development well	بئر تطوير
Dissolved gas	غاز منحل
Dolomite	دولوميت (صخر كربوناتي)
Effective	فعال
Effective thickness	السماكة الفعالة
Enhanced Oil Recovery (EOR)	الاستخلاص المعزز للنفط
Evaluation	تقييم
Exploitation	استثمار- استغلال
Exploration well	بئر استكشافي
Fault	فالق
Feasibility	الجدوى الاقتصادية
Fingering	تشكل الأصابع (الأقنية)
Flooding	إفاضة

Formation	تشكيلية
Formation Volume Factor (B_0)	عامل حجم التشكيلية
Fossils	أحافير
Fractures	شقوق
Fracturing	تشقيق
Free gas	غاز حر
Gas cap	قبة غازية
GOR: Gas to Oil Ratio	نسبة الغاز إلى النفط المنتج
Gravity drive	الدفق بقوة الجاذبية
Hydrate	هيدرات، رقاقات من الغاز و الماء
Hydrocarbon	فحوم هيدروجينية
Hydrostatic pressure	ضغط عمود السائل في البئر
Immiscible	غير قابل للامتزاج (للانحلال)
In situ combustion	حرق في الموضع
Inaccuracy	عدم الدقة (عدم الموثوقية)
Induction	حث/إشعال
Inferred reserves	احتياطيات استدلالية
Infill Drilling	الحفر البيئي
Inflection Point	نقطة الانعطاف (في المنحني)
Injection	حقن
Inter granular	بين الحبيبات
Intermediate	متوسط
Interval	فرجة
Intra granular	خارج الحبيبات
IOR	الاستخلاص المحسن للنفط
Limestone	الصخر الكلسي
Logs	قياسات كهربائية بئرية
Material Balance Equation	معادلة توازن المادة
Maturation	نضوج
Metabolism	الأبيض- الاستقلاب
Migration	هجرة
Mineral	معدن
Minimum Miscibility Pressure	ضغط الامتزاج الأصغري (الأدنى)
Miscible	قابل للامتزاج (للانحلال)
Modeling	نمذجة
Molasses	المولاس، دبس القصب
Mud cake	كعكة الحفر
NPWSC: National Petroleum War Service Committee.	لجنة الخدمة الوطنية للحرب النفطية
Open Holes	بئر بقاع مفتوح

OPEX (Operation Expenditures)	النفقات التشغيلية
Outcrop	تكشّف
Paraffin	شموع
Peak Oil	ذروة إنتاج النفط
Perforation	تثقيب
Permeability	نفاذية
Piston	مكبس
Polymer	بوليمير (متعدد الجزئيات)
Pores	مسامات
Porosity	مسامية
Porous	مساميّ
Possible reserves	الاحتياطيات الممكنة
PRCSD: Petroleum Resources Classification System and Definitions	نظام تصنيف وتعريف المصادر النفطية
Pressure	ضغط
Primary Recovery	إنتاج أولي
PRMS: Petroleum Resources Management System	نظام إدارة الموارد البترولية
Probabilistic	تقنيات التقييم الاحتمالية
Probable reserves	الاحتياطيات المحتملة
Production	إنتاج
Production well	بئر إنتاج
Prognostic resources	مصادر مخمنة
Prospective resources	المصادر المرترقة
Proved reserves	احتياطيات مؤكدة
Proven developed reserves	الاحتياطيات المؤكدة المطورة
Proven undeveloped reserves	الاحتياطيات المؤكدة غير المطورة
Radioactive	نشط إشعاعياً
Reconnaissance	استطلاع
Recovery factor	معامل الاستخلاص
Regional	إقليمي
Relative Density	
Remaining Oil	النفط المتبقي
Reserves	الاحتياطي
Reservoir	مكمن
Reservoir Characterization	توصيف المكامن
Reservoir rocks	صخور المكمن
Resistivity	مقاومة كهربائية
Resources	مصادر
Rotary drilling	الحفر الرجوي (الدوراني)

Sand	رمل
Sandstone	صخر رملي
Secondary Recovery	الاستخلاص الثانوي
Sedimentary rocks	صخور رسوبية
Seismic survey	مسح زلزالي
Simulation	محاكاة
Source rocks	صخور مولد
SPE: Society of Petroleum Engineers	جمعية مهندسي البترول
Speculative reserves	احتياطيات تكهنية
Standardization	التوحيد المعياري للمقاييس
Steam	بخار
Steam flooding	الإفاضة بالبخار
Steam injection	حقن البخار
Stimulation	تحفيز البئر
Stimulations	تحفيز الآبار
Stock tank oil originally in place (STOOIP)	الاحتياطي الجيولوجي
Structure	تركيب، بنية تركيبية
Sulfate-reducing bacteria	البكتريا المختزلة للكبريت
Surface facilities	مرافق الإنتاج- تسهيلات سطحية
Sweep Efficiency	كفاءة الكسح
Tertiary Recovery	الاستخلاص الثالثي
Testing	اختبار
Thermal	حراري
Thickness	سماكة
Thinning	تناقص السماكة
Trap	مصيدة
Ultimate Recoverable Reserves	الاحتياطي الأعظمي القابل للإنتاج
Ultimate Recovery Factor	معامل الاستخلاص الأعظمي
Uncertainty	عدم اليقين- عدم الموثوقية
Viscosity	لزوجة
Well logs	قياسات كهربائية بئرية (مجسات)
Wellbore	جذع البئر
Wettability	خاصية التبلل
Wildcat well	بئر تنقيبي
WPC: World Petroleum Council	المجلس العالمي للبترول

المراجع

[1] Deutsche Bank. *Markets Research: A Guide to the Oil & Gas Industry*, 25 January, 2013.

[2] John Ritter, 2005. *Where Is Our Focus?* Status Report of the SPE Oil and Gas Reserves Committee Ad Hoc Group of Experts on the Harmonization of Energy Reserves and Resources Terminology, Second Session. 9-11 November, Geneva, Switzerland.

[3] SPE, AAPG, WPC, SPEE, and SEG, 2011, *Guidelines for Application of the Petroleum Resources Management System*.

[4] تركي الحمش، الاستخلاص البترولي المحسن. مجلة النفط والتعاون العربي، المجلد 36، العدد 133، ربيع 2010.

[5] Oil and Gas Journal. *Russian Reserves Terminology Becoming Clearer*, Vol. 90, Issue 40, 5/10/1992.

[6] المرجع 4.

[7] M. King Hubbert. *Nuclear Energy and the Fossil Fuel*, Presented before the spring meeting of the southern district, Division of Production, API, Plaza Hotel, San Antonio, Texas, March 7-8-9 1956. Publication no 95, Shell Development Company, Texas, 1956.

[8] EIA, *US Field Production of Crude Oil*. Available on:

<https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=MCRFPUS2&f=A>

[9] أوإيك، تقرير الأمين العام السنوي 43، 2016.

[10] EIA, *Tight Oil Production Estimates*. Available on:

<https://www.eia.gov/energyexplained/data/U.S.%20tight%20oil%20production.xlsx>

[11] BP Statistical Review of World Energy, June, 2017.

[12] The Statistical Portal, 2017. Average annual OPEC crude oil price from 1960 to 2017 (in U.S. dollars per barrel). Available on:

<https://www.statista.com/statistics/262858/change-in-opec-crude-oil-prices-since-1960/>

Retrieved on: 1/11/2017.

[13] Lynch Michael. *The "Peak Oil" Scare and the Coming Oil Flood*. Praeger Publications, Santa Barbara, California. ISBN 9781440831867. 2016.

[14] Lynch Michael. *The Shell Reserve Downgrading: Year of the Monkey Business?* Strategic Energy & Economic Research Inc. Publications. 2004.

[15] Bob Dudley, *BP Chief Charts Energy, Emission Course*. Oil and Gas Journal, 24/7/2017.

Available at: <https://www.ogj.com/articles/2017/07/bp-chief-charts-energy-emission-course.html> Rederived: 15/8/2017.

[16] المرجع 4.

[17] Guerrero, E.T. *How to Find Ultimate Recovery and Performance of Oil Reservoirs*. O&GJ, Vol. 59, No. 35. 1961.

[18] Energy Resources Conservation Board. *Alberta's Reserves of Crude Oil, Oil Sands, Gas, Natural Gas Liquids and Sulphur*. Report ST 91-18, Dec. 1990, Calgary, AB.

[19] Sandra Ivan and Sandra Rafael. *Global Oil Reserves-I: Recovery factors leave vast target for EOR Technologies*. Oil and Gas Journal. Vol. 105, Issue 41. 2007.

[20] Mugeridge A, et al. *Recovery Rates, Enhanced Oil Recovery and Technological Limits*. Phil. Trans. R. Soc. A 372: 20120320, 2014. Available at:

<http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2012.0320>

[21] J.J. Taber, F.D. Martin, and R.S. Seright, New Mexico Petroleum Recovery Research Center. *EOR Screening Criteria Revisited- Part 1: Introduction to Screening Criteria and Enhanced Recovery Field Projects. Part 2: Applications and Impact of Oil Prices*. Presented at the 1996 SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium held in Tulsa, Oklahoma, 21–24 April 1996. In SPE Reservoir Engineering, August 1997.

- [22] Petroleum Solutions. *EORgui, Product Details*. Available at:
<http://www.petroleumssolutions.co.uk/eorguimain.html> Retrieved on: 4/4/2018.
- [23] Awan AR, Teigland R, Kleppe J. *A survey of North Sea enhanced-oil-recovery projects initiated during the years 1975 to 2005*. SPE Reserv Eval Eng 11(3):497–512, 2018.
- [24] Afeez O. Gbadamosi, Joseph Kiwalabye, Radzuan Junin, and Agi Augustine. *A review of gas enhanced oil recovery schemes used in the North Sea*. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. Published online in 13/3/2018. Available at:
<https://doi.org/10.1007/s13202-018-0451-6>
- [25] Saeed Abbasi, Mohsen Tavakkolian and Abbas Shahrabadi. *Investigation of Effect of Gas Injection Pressure on Oil Recovery Accompanying CO₂ Increasing in Injection Gas Composition*. Society of Petroleum Engineers, Nigeria Annual International Conference and Exhibition, 31 July - 7 August, Tinapa - Calabar, Nigeria. 2010.
- [26] المرجع 4
- [27] Schlumberger, Oil Field Glossary. Available at:
http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/m/minimum_miscibility_pressure.aspx
- [28] Verma Mahendra K. 2015. *Fundamentals of Carbon Dioxide-Enhanced Oil Recovery (CO₂-EOR)—A Supporting Document of the Assessment Methodology for Hydrocarbon Recovery Using CO₂-EOR Associated with Carbon Sequestration*, USGA, Open-File Report 2015–1071.
- [29] Leena Koottungal. *2014 worldwide EOR survey*, Oil and Gas Journal, 2014.
- [30] Hustad, C.W. *Capturing, Managing and Gathering CO₂ for EOR Onshore and Offshore: Challenges and Opportunities*. ACI Optimising EOR Strategy, London, UK, 11–12 March 2009.
- [31] The Petroleum Economist Ltd. *World Energy Atlas, 7th edition*. Petroleum Economist Cartographic. 2013.

- [32] P.L. McGuire and B.M. Holt. *Unconventional Miscible EOR Experience at Prudhoe Bay: A Project Summary*, February 2003 SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 6 (1): 17-27. SPE-82140-PA. 2003
- [33] McGuire PL, Spence AP, Stalkup FI, Cooley MW. *Core Acquisition and Analysis for Optimization of the Prudhoe Bay Miscible-Gas Project*. SPE Reservoir Eng. 10, 94–100. 1995.
- [34] Standing Tomas H. *Data Shows Steep Prudhoe Bay Production Decline*. Oil and Gas Journal, Vol. 98, Issue 40. Special Report. 2000.
- [35] BP. *Greater Prudhoe Bay, Prudhoe Bay oil production passes 12 billion barrels*. 2000. Available at: www.bp.com/content/dam/bp-country/en_us/PDF/prudhoe_bay_2013.pdf
- [36] World Oil. News, *BP celebrates 40 years of production at Prudhoe Bay*. 2017 Available at: <http://www.worldoil.com/news/2017/6/19/bp-celebrates-40-years-of-production-at-prudhoe-bay>
- [37] Watts Kevin. *Nitrogen Injection Increases Recovery in the Cantarell Field*. Upstream Pumping, July/August Issue, 2015.
- [38] The Petroleum Economist Ltd. *World Energy Atlas, 7th edition*. Petroleum Economist Cartographic. 2013.
- [39] Zborowski Matt. *OTC: Pemex's Financial, Operational Outlooks Improving, CEO says*. Oil and Gas Journal, Article, 5/2017. Available at: <http://www.ogj.com/articles/2017/05/otc-pemex-s-financial-operational-outlooks-improving-ceo-says.html>
- [40] Florida Department of Environmental Protection, *Oil and Gas Annual Production Reports* (No date). Available at: www.dep.state.fl.us/water/mines/oil_gas/reports/apr/oil_gas_annual_production_report2016.xls

- [41] Langston, E.L. and Shirer. J.A. *Performance of Jay/LEC Fields Unit Under Mature Waterflood and Early Tertiary Operations*, Journal of Petroleum Technology, February. 1985.
- [42] Xiaoliang Zhao, Zhenhua Rui, Xinwei Liao 2015. *Case studies on the CO₂ storage and EOR in heterogeneous, highly water-saturated, and extra-low permeability Chinese reservoirs*. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 29 (2016) 275-283.
- [43] Thomas. B. *Proposed Screening Criteria for Gas Injection Evaluation*. Journal of Canadian Petroleum Technology. Volume 37, Issue 11, November, 1998.
- [44] Baljit S. Sehbi, Scott M. Frailey, Akanni S. Lawal. *Analysis of Factors Affecting Microscopic Displacement Efficiency in CO₂ Floods*. SPE Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference held in Midland, Texas. 15–16 May 2001.
- [45] Ning Weia, Xiaochun Lia, Robert T. Dahowskib, Casie L. Davidsonb, Shengnan Liua, Yongjin Zhac. *Economic evaluation on CO₂-EOR of Onshore Oil Fields in China*. International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 37, June, 2015.
- [46] Saudi Aramco, 2015. *Launching the Kingdom's first carbon capture project*, Saudi Aramco News and Media, 29/7/2015. Available at:
<http://www.saudiaramco.com/en/home/news-media/news/capturing-carbon.html>
- [47] S.M. Al-Mutairi, and M.H. Al-Harbi. *Water Production Management Strategy in North Uthmaniyah Area, Saudi Arabia*. SPE Europec/EAGE Annual Conference and Exhibition, Vienna, Austria, 12-15 June, 2006. SPE: 98847.
- [48] Almohannad Alhashboul, Abdullatef Almufti, and Sunil Kokal (Saudi Aramco). *Surface Facilities Design for the First CO₂ EOR Demonstration Project in Saudi Arabia*. SPE Europec featured at 79th EAGE Conference and Exhibition, Paris, France, 12-15 June, 2017. SPE-185836-MS
- [49] Secaeddin Sahin, Ulkera Kalfa, and Demet Celebioglu. *Bati Raman Field Immiscible CO₂ Application: Status Quo and Future Plans*. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Buenos Aires, Argentina, 15-18 April, 2007. SPE: 106575

- [50] A.R. Awan, R. Teigland, and J. Kleppe. *A Survey of North Sea EOR Projects Initiated During the Years 1975 to 2005*. Presented at SPE/DOE Symposium on Improved Oil Recovery, Tulsa, 2006.
- [51] Mark H Holtz, 2016. *Immiscible Water Alternating Gas (IWAG) EOR: Current State of the Art*, SPE Improved Oil Recovery Conference, Tulsa, Oklahoma, USA, 11-13 April 2016. SPE-179604-MS
- [52] David Merchant. *Enhanced Oil Recovery – The History of CO₂ Conventional WAG Injection techniques developed from Lab in the 1950's to 2017*. Carbon Management Technology Conference, Houston, Texas, USA, 17-19 July 2017. CMTC-502866-MS
- [53] J.R. Christensen, E.H. Stenby, and A. Skauge. *Review of WAG Field Experience*. SPE International Petroleum Conference and Exhibition of Mexico, Villahermosa, Mexico, 3-5 March, 1998.
- [54] Norwegian Petroleum Directorate, 2014. *Large Quantities of Oil from Gas Injection*. Available at: <http://www.npd.no/en/Topics/Improved-Recovery/Temaartikler/Large-quantities-of-oil-from-gas-injection/> Retrieved: 2018/1/16.
- [55] Norwegian Petroleum Directorate, 2017. Fact Pages, Ekofisk Field. Available at: <http://factpages.npd.no/FactPages/default.aspx?nav1=field&nav2=PageView%7CAll&nav3=43506> Retrieved: 20/9/2017.
- [56] Norwegian Petroleum Directorate, 2017. Fact Pages, Staffjord Field, Available at: <http://factpages.npd.no/FactPages/default.aspx?nav1=field&nav2=PageView%7CAll&nav3=43506> Retrieved: 1/10/2017.
- [57] Ryoji Uchiyama, Yutaka Yamada, Hiroshi Ishii, and Lutfi A. Salameh. *Sweet and Sour Gas Injection as an Enhanced Oil Recovery Method in Abu Dhabi Offshore Oil Fields*. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Abu Dhabi, UAE, 3-6 November, 2008. SPE 118096.
- [58] تركي الحمش، جيولوجية بعض الأحواض الترسيبية في الشرق الأوسط وإمكانياتها البترولية، 2011. أوابك، مجلة النفط والتعاون العربي، المجلد 37، العدد 138.

- [59] Abu Dhabi Oil Company Ltd. <http://adocauh.cts-co.net/product/03/> Retrieved: 5/10/2017.
- [60] Maryam Asemani, Feridun Esmailzade, Dariush Mowla, Damoon Ranjbar, and Vahid Khorshidi. *Scale formation hinders gas injection wells in Iran's Kupal, Maroun oil fields*. Oil and Gas Journal, Vol. 115, Issue: 2, 2017.
- [61] Singer, M.E., and Finnerty, W.R. 1984. *Microbial Metabolism of Straight and Branched Alkanes*. Petrol. Microbiol., ecl. R. Atlas., Collier MacMillan, New York, USA.
- [62] Leach RO, Wagner OR, Wood HW, Harpke CF. 1962. *A Laboratory and Field Study of Wettability Adjustment in Water Flooding*. SPE, Journal of Petroleum Technology, Issue 2, Vol. 14.
- [63] BP, No date. *Clair Ridge*. Available on: https://www.bp.com/en_gb/united-kingdom/where-we-operate/north-sea/north-sea-major-projects/clair-ridge.html Retrieved on: 16/1/2018.
- [64] Brian Walzel. *Enhancing offshore recovery despite challenging economics, offshore EOR offers substantial returns*. E&P Magazine, August, 2017.
- [65] Vadim Akhmetgareev and Rais Khisamov. *40 Years of Low-Salinity Waterflooding in Pervomaiskoye Field, Russia: Incremental Oil*. SPE European Formation Damage Conference and Exhibition, Budapest, Hungary, 3-5 June, 2015.
- [66] M. T. Al-Murayri, H. E. Al-Mayyan, A. A. Faraj, and M. B. Abdullah, Kuwait Oil Company; M. Pitts and K. Wyatt, Surtek. *Evaluation of Enhanced Oil Recovery Technologies for the Sabriyah Lower Burgan Reservoir Kuwait*. SPE Reservoir Characterization and Simulation Conference and Exhibition, Abu Dhabi, UAE, 08-10 May, 2017. SPE-186026-MS.
- [67] Abbas Zeinijahromi, Vadim Ahmetgareev, Ravil Ibatullin and Pavel Bedrikovetsky. *Sensitivity study of low salinity water injection in Zichebashskoe Oilfield*. Academic Journal, Journal of Petroleum and Gas Engineering, Vol.6 (1), pp. 10- 21, January, 2015.

- [69] Ahmed Al Janahi, Yusuf Buali, Nadia Nemmawi, *Nahr Umr Classical Waterflood: From Pattern Pilot to Peripheral Waterflood, Bahrain*. SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference, Manama, Kingdom of Bahrain, 6-9 March 2017. SPE-183683-MS
- [70] James J. Sheng, *Polymer Flooding Fundamentals and Field Cases*. In: *Enhanced Oil Recovery Field Case Studies*. Elsevier Inc. Publications, USA, 2013.
- [71] Robert Kenneth Manning, L.W. Lake and G.A Pope, *A technical survey of polymer flooding projects*. Bartlesville Project Office, U.S. Department of Energy, 1983.
- [72] R.S. Seright. *How Much Polymer Should Be Injected during a Polymer Flood? Review of Previous and Current Practices*. The National IOR Center of Norway, 19th European Symposium on Improved Oil Recovery. 24-27 April 2017, Stavanger, Norway.
- [73] Rhonda Duey. *Daqing A True Game-changer For China*, EP Magazine, 1/9/2015. Available on: <https://www.epmag.com/daqing-true-game-changer-china-816506> Retrieved on: 21/1/2018.
- [74] XuTang, BaoshengZhang, MikaelHöök and LianyongFeng. *Forecast of oil reserves and production in Daqing oil field of China*. Energy 35 (2010) 3097- 3102 Elsevier Publications.
- [75] Dongmei Wang, Huanzhong Dong, Changsen Lv, Xiaofei Fu and Jun Nie. *Review of Practical Experience of Polymer Flooding at Daqing*. SPE/DOE Symposium on Improved Oil Recovery, Tulsa, 20–23 April 2008.
- [76] D. Teeuw, D. Rond, and J.H. Martin. *Design of a Pilot Polymer Flood in the Marmul Field, Oman*. SPE, Middle East Oil Technical Conference and Exhibition, 14-17 March, Manama, Bahrain, 1983. SPE-11504-MS.
- [77] L. M. Akella. *Environmental Assessment of Marmul Asset, 2002 Review and Update*. PDO, 2003. Available at: www.pdo.co.om/hseforcontractors/.../Marmul%20Asset.pdf Retrieved on: 25/4/2018.
- [78] Petroleum Development Oman. *Historical Timeline of PDO between 1937 and 2016*. Available at: <http://www.pdo.co.om/en/about/timeline/Pages/default.aspx> Retrieved on: 25/4/2018.

- [79] Bou-Mikael, S., Asmadi, F., Marwoto, D., Cease, C. *Minas surfactant field trial tests two newly designed surfactants with high EOR potential*. Paper SPE 64288 Presented at the Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 16_18 October, 2000, Brisbane, Australia.
- [80] Cheng H., Shook G.M., Taimur M., Dwarakanath V. & Smith B.R. *Interwell tracer tests to optimize operating conditions for a surfactant field trial: design, evaluation and implications*. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 15 (2), April, 2012.
- [81] Abdurrahman Muslim, Bae Wisup Novriansyah Adi & Khalid Idham. *Enhanced Oil Recovery (EOR) Challenges and its Future in Indonesia*. 26th International Conferences on Engineering and Natural Science (ICENS), At Jakarta-Indonesia. February, 2016.
- [82] James J. Sheng, *Surfactant-Polymer Flooding*. In: *Enhanced Oil Recovery Field Case Studies*. Elsevier Inc. Publications, USA, 2013.
- [83] S.R. Clark, M.I. Pitts, S.M. Smith. *Design and Application of an Alkaline-Surfactant-Polymer Recovery System for the West Kiehl Field*. SPE Advanced Technology Series, Vol. I, No. I, April, 1993.
- [84] Lee McInnis, Kate Hunter, Tyler Ellis-Toddington, David Grawbarger. *Case Study of the Mannville B ASP Flood*. Presented at: SPE Enhanced Oil Recovery Conference held in Kuala Lumpur, Malaysia, 2-4 July 2013.
- [85] المرجع 4.
- [86] Andrade, E.N.DA C. *The viscosity of liquids*. Nature, International Journal of Science. March (1), 1930. 309_310. Available online at: <http://dx.doi.org/10.1038/125309b0>
- [87] Nakornthap, K., Evans, R.D. *Temperature-dependent relative permeability and its effect on oil displacement by thermal methods*. SPE, 1 (3), 1986. 230-242.
- [88] Pearce, J.C., Megginson, E.A. *Current status of the Duri steam flood project, Sumatra, Indonesia*. Paper presented at the SPE International Thermal Operations Symposium, 7-8 February, Bakersfield, CA. 1991.

- [89] Guntis Moritis. *Steamflood Boosts Indonesia's Production and Reserves*. Oil and Gas Journal, Vol. 88, Issue: 26, 1990.
- [90] Chevron Indonesia, *Chevron Breaks Ground on North Duri Development Area 13*. No date. Available at: http://www.chevronindonesia.com/en/news/north_duri_dev.aspx Retrieved on: 4/4/2018.
- [91] Pasaribu Rinaldi et al. *Maximizing Production of Low Injectivity Steam Flood Reservoir through Pressure Balance Approach*. 186284-MS SPE Conference Paper - 2017
- [92] ExxonMobil. *Worldwide Operations, Crude Trading, Cold Lake Blend*. No date. Available at: <http://corporate.exxonmobil.com/en/company/worldwide-operations/crude-oils/cold-lake-blend>
- [93] Buckles, R.S. *Steam stimulation heavy oil recovery at Cold Lake, Alberta*. Paper SPE 7994 Presented at the SPE California Regional Meeting, 18-20 April, Ventura, CA, 1979.
- [94] E. Vlttoratos, George R. Scott, and Craig I. Seattle. *Cold Lake Cyclic Steam Stimulation: A Multiwell Process*. SPE Reservoir Engineering, February 1990. Paper (SPE 17422) First presented at the 1988 SPE California Regional Meeting held in Long Beach, March 23-25.
- [95] Imperial Oil, Operations, Oil Sands. No date. Available at: <http://www.imperialoil.ca/en-ca/company/operations/oil-sands/cold-lake?parentId=16eb4764-215a-42bf-ba5b-ec1bab575a08>
- [96] Oil and Sands Magazine. *Cold Lake, Monthly Bitumen Production and SOR*. No date. Available at: <http://www.oilsandsmagazine.com/projects/imperial-oil-cold-lake-css>
- [97] National Energy Board. *Energy Information, Statistics & Analysis, Crude Oil and Petroleum Products*. Available at: <https://www.neb-one.gc.ca/nrg/sttstc/crdlndptrlmprdct/index-eng.html> Retrieved: 24/4/2018.
- [98] Vista Projects. *Breakthrough Solvent Tech Promises Benefits for Oil Sands*. Industry News, Technology and Innovation. 2/9/2016. Available at:

<https://www.vistaprojects.com/blog/solvent-technology-promises-oil-sands-benefits/>

Retrieved: 24/4/2018.

[99] Vista Projects. *50,000 BPD Expansion of SAGD Central Processing Facility*.

Available at: <https://www.vistaprojects.com/project/0162-50000-bpd-expansion-sagd-central-processing-facility/> Retrieved on: 24/4/2018

[100] Alberta Government. Alberta Major Projects. Available at:

http://majorprojects.alberta.ca/#list/?type=Oil-and-Gas_Oil-Sands:-In-Situ Retrieved on: 24/4/2018.

[101] وزارة الاقتصاد الوطني، المركز الوطني للإحصاء والمعلومات. النشرة الإحصائية الشهرية، الأعداد من عام

2008-2017. متوفرة على: <https://www.ncsi.gov.om>

[102] Glass Point Company. Markets: Oman. Available at:

<https://www.glasspoint.com/markets/oman/> No date. Retrieved on: 30/4/2018

[103] Glass Point Company. Solar-Powered Oil Production, Overview. v2.1. 2/2018.

Available at: https://www.glasspoint.com/wp-content/uploads/GPS_SolarEOROverview_v2.1_201802.pdf

[104] PDO. *Miraah Solar Plant Delivers First Steam to Amal West Oilfield*. News, Press Releases. 2/11/2017. Available at: <http://www.pdo.co.om>. Retrieved on: 2/5/2018.

[105] Glass Point Company. *Belridge Solar*, Project Fact Sheet. Feb. 2018. Available at:

https://www.glasspoint.com/wp-content/uploads/GPS_AeraBelridgeSolarFactsheet_v2.0_201802.pdf Retrieved on: 25/6/2018.

[106] Ramkrishna Sen. *Biotechnology in petroleum recovery: The microbial EOR*. In: *Progress in Energy and Combustion Science*. Elsevier Ltd. 34 (2008).

[107] K. Town, A.J. Sheehy and B.R. Govreau. *MEOR Success in Southern Saskatchewan*.

SPE Reservoir Evaluation & Engineering. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, 4–7 October 2009.

- [108] Norwegian Petroleum Directorate, 2017. *Positive prospects for producing more*. Available on: <http://www.npd.no/en/Topics/Improved-Recovery/Temaartikler/Positive-prospects-for-producing-more/> Retrieved: 16/1/2018.
- [109] Alberta Government. *Meadow Creek East SAGD Project*. Available at: <http://majorprojects.alberta.ca/details/Meadow-Creek-East-SAGD-Project/2905> Retrieved on: 24/4/2018.
- [110] Petroleum Technology Research Center, No date. *The IEAGHG Weyburn-Midale CO₂ Monitoring and Storage Project*. Available on: <https://ptrc.ca/projects/weyburn-midale> Rederived: 17/1/2018.
- [111] المرجع 9.
- [112] BMI Research, 2017. *Global Summary Oil & Gas AUG 2017*.
- [113] Mark Eckard, 2017. *Enhanced Oil Recovery: Technologies and Global Markets*. Market Research Report, BCC Report Overview, June.
- [114] Hess, 19/6/2017. News Release: *Hess Announces Sale of Its Enhanced Oil Recovery Assets in the Permian Basin*. Available on: <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=101801&p=irol-newsArticle&ID=2281650> Retrieved: 17/1/2018.
- [115] Chaparral Energy, 13/10/2017. Press Release: *Chaparral Energy Announces Sale of EOR Assets for \$170 Million*. Available on: <https://www.chaparralenergy.com/news/chaparral-energy-announces-sale-eor-assets-170-million> Retrieved: 17/1/2018.
- [116] Fleur de Lis Energy, 15/4/2017. Press Release: *FDL Acquires Wyoming EOR Assets*. Available on: <http://www.fdlenergy.com/what-we-do.html> Retrieved: 17/1/2018.
- [117] Fleur de Lis Energy, 15/4/2017. Press Release: *FDL Acquires Permian Basin Properties*. Available on: <http://www.fdlenergy.com/what-we-do.html> Retrieved: 17/1/2018.
- [118] Pan-Sang Kang, Jong-Se Lim and Chun Huh. *Screening Criteria and Considerations of Offshore Enhanced Oil Recovery*. MDPI Journal, Vol. 9, Issue 44, 2016.

[119] Hua Qiang et al. *Ultrasonic irradiation reduces Shengli heavy oil viscosity*. Oil and Gas Journal, Vol. 115, Issue 10. 2/10/2017.

[120] Cengiz Yegin et al. *Next-Generation Displacement Fluids for Enhanced Oil Recovery*. SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition. Mumbai, India, 4- 6 April 2017. SPE-185352-MS.

[121] منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول. دور النفط الثقيل في مواجهة الطلب العالمي على الطاقة، 2015.

The Role of Improved Oil Recovery in Developing Hydrocarbon Reserves

Torki Hemsh *

Oil is the mainstay of energy industry, its share of 2017- energy mix was 33%, and expected to be 27% in 2040.

World energy demand is increasing due to rapidly increased population especially in China and India. IOR technologies are endorsed by the global oil industry as sensible means to overcome some energy policy concerns.

With an average oil recovery factor of 30- 35%, nearly 70% of the known STOIP remain in the reservoirs. IOR technologies become of significant importance to the global oil supply through their ability to exploit additional reserves from oil fields depleted of more easily recoverable oil.

The study was divided into two chapters:

Chapter one: introduced the definition of reserves and resources and their various classifications. It also discussed the peak oil theory and criticisms to Hubert's hypothesis.

Chapter two: discussed the techniques of improved oil recovery operations and provided a brief explanation of the most common ones, and their role in the development of reserves through many case studies and illustrative examples from around the world.

The study also touched on the economics of IOR, and explained the reasons why most of IOR projects take place onshore rather than offshore.

In conclusion, the study highlighted the role of IOR in increasing the recovery factor, and reclassifying considerable resources as reserves.

It showed that thermal techniques prevailed onshore, while Hydrocarbon gas injection is more preferable offshore.

*Petroleum Expert - Technical Affairs Department, OAPEK - Kuwait

Abstract

oil prices, economic diversification, economic growth, sustainable development, sovereign wealth funds, members of OAPEC.

Dr. Amina Mohammad Ali Bo Allai

Economic diversification policy aims to sustain economic development; Therefore, this study aimed to study the effect of oil prices on the relationship between economic diversification and economic growth in the oil-producing Arab countries (members of OAPEC).

To achieve the study's aim, data was used for a time series spanning twenty-three years from 1996-2018. Economic diversification was measured through the Diversification Index, and the economic growth variable was measured through growth in GDP. Then the study framed the relationship between these variables in the context of oil price. Finally, control variables were added to the model (oil characteristics, economic characteristics, political characteristics, and achieving the SDGs).

Before going to draw conclusions; The study tested the validity of its proposed model through a number of advanced statistical tests, which indicated the validity of the model in some aspects and suggested modifying it in other aspects. To give the best indicative results of the supposed relationship between economic diversification and economic growth on the one hand and the moderating role of oil prices on this relationship on the other hand.

The study reached number of descriptive and empirical results. The results indicated that there is a good percentage of economic diversification in OAPEC members, however a low percentage in economic growth. The results also showed that there is an effect of oil prices on the relationship between economic diversification and economic growth in Tunisia only. These results explain that oil prices do not affect the relationship between economic diversification and growth in countries that have sovereign wealth funds. As for countries that do not have sovereign wealth funds (Tunisia), oil prices have a negative impact on the relationship between economic diversification and growth. Then the study recommended that oil countries that do not have sovereign wealth funds to work to establish sovereign wealth funds funded from oil in order to avoid the impact of oil prices on the relationship between economic diversification and growth.

Contents



OAPEC's Scientific Research Award for the year 2018

Second Prize

Oil Prices, Economic diversification, Economic growth, Sustainable development, Sovereign wealth funds, Members of OAPEC. 7

Dr. Amina Mohammad Ali Bo Allai - **Abstract** 7

Articles

The Role of Improved Oil Recovery in Developing Hydrocarbon Reserves 75

Torki Hemsh - **Abstract** 8

Oil and Arab Cooperation is an Arab journal aiming at spreading petroleum and energy knowledge while following up the latest scientific developments in the petroleum industry

Articles published in this journal reflect the opinions of their authors and not necessarily those of OAPEC.

- Information sources and references should be referred to/enlisted in a clear academic method.
- When citing information from any source (digital, specific vision, or analysis), plagiarism should be avoided. Such information should be rephrased by the researcher's own words while referring to the original source. For quotations, quotation marks ("...") should be used.
- It is preferred to write the foreign names of cities, research centres, companies, and universities in English not Arabic.
- The researcher's CV should be attached to the article if it was the first time he/she cooperates with the journal.
- Views published in the journal reflect those of the authors and do not necessarily represent the views of OAPEC. The arrangement of the published articles is conditioned by technical aspects.
- Authors of rejected articles will be informed of the decision without giving reasons.
- The author of any published article will be provided with 5 complementary copies of the issue containing his/her article.

**Articles and reviews should be sent to:
The Editor-in-Chief, Oil and Arab Cooperation Journal, OAPEC**

**P.O.Box 20501 Safat -13066 Kuwait
Tel: (+965) 24959000 - (+965) 24959779
Fax : (+965) 24959755**

E-mail : oapec@oapecorg.org - www.oapecorg.org

PUBLICATION RULES

DEFINITION AND PURPOSE

OIL AND ARAB COOPERATION is a refereed quarterly journal specialized in oil, gas, and energy. It attracts a group of elite Arab and non- Arab experts to publish their research articles and enhance scientific cooperation in the fields relevant to the issues covered by the journal. The journal promotes creativity, transfers petroleum and energy knowledge, and follows up on petroleum industry developments.

RESEARCH ARTICLES

The journal welcomes all research articles on oil, gas, and energy aiming at enriching the Arab economic literature with new additions.

BOOK AND RESEARCH REVIEWS

The journal publishes articles presenting analytical reviews on books or studies published on oil, gas, and energy in general. These reviews work as references for researchers on the latest and most important petroleum-industry-related publications.

REPORTS

They tackle a conference or seminar attended by the author on the condition that they are relevant to oil, gas, and energy. Also, the author should obtain the permission of the institution that delegated or sponsored him/her to attend that event allowing him/her to publish their article in our journal. The report should not exceed 10 pages including figures, charts, maps, and tables if available.

RESEARCH CONDITIONS

- Publication of authentic research articles in Arabic which observe internationally recognized scientific research methodology.
- Articles should not exceed 40 pages (including text, tables, and figures) excluding the list of references. The full text of the article should be sent electronically as a Word document.
- Figures, maps, and pictures should be sent in a separate additional file in JPEG format.
- “Times New Roman” should be used with font size 12. Line spacing should be 1.5. Text alignment should be “justified”.



OIL AND ARAB COOPERATION

Editor - in - Chief

Ali Sabt BenSabt

Deputy Editor - in - Chief

Abdul Kareem Kh. Ayed

Editorial Board

D. Samir El Kareish

Ahmed Al-Kawaz

Abdul Fattah Dandi

Ahmed Al-Kawaz

Saad Akashah

Emad Makki

Prices

Annual Subscription (4 issues including postage)

Arab Countries:

Individuals: KD 8 or US \$25

Institutions: KD 12 or US\$45

Other Countries:

Individuals: US\$ 30

Institutions: US\$ 50

All Correspondences should be directed to:
Editor-in-Chief of Oil and Arab Cooperation Journal



OIL AND ARAB COOPERATION



ORGANIZATION OF ARAB PETROLEUM EXPORTING COUNTRIES
OAPEC

OIL & ARAB COOPERATION



Volume 46 - 2020 - Issue 172

OAPEC's Scientific Research Award for the year 2018

Second Prize

- Oil Prices, Economic diversification, Economic growth, Sustainable development, Sovereign wealth funds, Members of OAPEC.

Dr. Amina Mohammad Ali Bo Allai

Articles

- The Role of Improved Oil Recovery in Developing Hydrocarbon Reserves

Torki Hemsh