# استخدام التحليل الترابطي والموديلات الرياضية التجريبية لتحديد الاحتياطي القابل للإنتاج من المكامن النفطية السورية

[1]عبد الله علي الدمبي، [2]حسين علي احمد و[3]ادمون مطانيوس سلوم
[1]كلية العلوم - جامعة عدن، اليمن
[2]دائرة العلوم الأرضية في شركة دير الزور للنفط- سوريا
[3]الجامعة السورية الخاصة - سوريا
DOI: https://doi.org/10.47372/uajnas.2017.n2.a07

## الملخص

تظهر هذه الدراسة مقاربة جديدة في حل مسالة حسابات الاحتياطي القابل للإنتاج من المكامن النفطية انطلاقاً من حساب الاحتياطي القابل للإنتاج من الآبار العاملة فيها وكذلك في مسالة حساب الإنتاج المتوقع مع الزمن من هذه المكامن عبر الآبار العاملة فيها وذلك باستخدام التحليل الترابطي والموديلات الرياضية التجريبية القائمة أساساً.

وأمكن التوصل إلى إمكانية تقدير الاحتياطي القابل للإنتاج بعامل دقة يقارب ال 90% في بعض الحقول السورية، وذلك باستخدام الموديلات الرياضية التجريبية وكذلك من خلال إيجاد علاقة ترابطية بين كل من الإنتاج الأولي أو الأعظمي لكل بئر وبين الاحتياطي القابل للإنتاج منه.

**الكلمات المفتاحية:** الاحتياطي، الإنتاج، البئر، المكمن، المعطيات الإنتاجية، التحليل الترابطي، التمثيل الرياضي.

## مقدمة:

ظهر مفهوم التحليل الترابطي في منتصف القرن التاسع عشر في أعمال العالمين غالتون وبيرسون المتخصصين في العلوم الطبيعية ثم امتد إلى الاقتصاد ولاحقاً إلى باقي مجالات العلوم، بما في ذلك علم النفط، حتى أصبح التحليل الترابطي في الوقت الحاضر أحد أكثر الطرق انتشارا لمعالجة البيانات وإنشاء الموديلات الرياضية بناء على المعطيات التجريبية، وذلك لجودة نتائجه وقلة تكلفته مقارنة بغيره من الطرق والبرامج الاستثمارية.

عُرفت الصناعة النفطية خلال مراحل تطورها العديد من الطرق لتقدير احتياطيات الحقول النفطية ومن ثَم تقدير احتياطي الشركات النفطية وانتاجها ولأهمية ذلك في بناء المنشآت النفطية المناسبة سواء في الحقول مباشرة أو لجهة تصميم خطوط النقل المناسبة وتامين تكرير النفط أو تصديره وكذلك تامين الأسواق الاستهلاكية وصولا إلى تامين الكوادر الفنية اللازمة للعمل وتحديد قيم أصول وأسهم الشركات النفطية المساهمة.

يقدر الجيولوجيون الاحتياطي الجيولوجي للمكامن (STOIIP) حجميا [1]:

$$STOIIP = V * \phi * (1 - S_{wc}) / B_{oi} \qquad (1)$$

حيث أنَّ V -حجم المكمن، $\phi$ - المسامية, $S_{wc}$ – التشبع بالمياه المترابطة، $B_{oi}$ – العامل الحجمي للنفط.

بينما يقوم مهندسو المكامن بتقدير الاحتياطي القابل للإنتاج ($Q_\infty$) معتمدين على النتائج المخبرية لفحص العينات الأسطوانية والفتاتية والموائع الطبقية والشبكة المحتملة لتوزع الآبار مستخدمين عوامل الإزاحة ($E_D$) والكنس الأفقي والعمودي ($E_S$) بناء على الشبكة المقترحة لتوزع الآبار أثناء وضع مشروع تطوير المكمن وفق العلاقة المعروفة:

$$Q_\infty = E_D * E_S * STOIIP \qquad (2)$$

بعد ذلك، يجري حساب كمية النفط المتوقع إنتاجها من هذا الاحتياطي بتطبيق قانون دارسي المعروف. وفي كثير من الأحيان يتم الاستعانة بالموديلات الفيزيائية والرياضية للمكامن وموديلات عمليات الإزاحة فيها لحل مسائل تقدير الاحتياطي القابل للإنتاج ووضع خطة الإنتاج مع الزمن، حيث توصف هذه الموديلات المكامن وحركة السوائل فيها بطريقة علمية تعكس كل مواصفاتها الجيولوجية والخزينة المتوفرة.

يمكن تصنيف طرق إنشاء موديلات المكامن وعمليات الإزاحة فيها إلى طرق فيزيائية وأخرى رياضية، إذ تعتمد الطرق الفيزيائية على التشابه القائم بين توزع الضغوط والقوانين الناظمة لحركة السوائل في الطبقات مع غيرها من الظواهر الطبيعية الأخرى كحركة وتوزع الشحنات الكهربائية والحرارية والمغناطيسية في حقولها. ومن أهم الموديلات الفيزيائية التي شاع استخدامها في الصناعة النفطية:

- الموديلات الفيزيائية الهيدروليكية: تعتمد على التشابه بين قانون دارسي وقانون بوازيل للجريان اللزج
- الموديلات الفيزيائية الحرارية: تقوم على التشابه بين معادلتي توزع وانتشار ا لحرارة والضغوط، حيث تبرز أهمية هذه الموديلات في دراسة وتقدير النفط اللزج وإنتاجها.
- الموديلات الفيزيائية الكهربائية: مبنية على التشابه الكهربائي والهيدروديناميكي، حيث يمكن بناء موديل كهربائي يمثل الطبقة وعمليات الازاحة ضمنها.

أما الطرق الرياضية فيتم فيها وضع الموديل الرياضي اعتماداً على المعلومات النظرية والمعطيات الأولية الجيولوجية والإنتاجية المتوفرة ومن ثم تفعيله للحصول على النتائج الأولية التي تجري مقارنتها بالمعطيات الفعلية ليصار إلى تدقيق الموديلات وإخراجها بالشكل النهائي الملائم للتطبيق الصناعي.

**من أهم هذه الموديلات:**

- الموديلات الرياضية التجريبية: تعتمد على بعض الفرضيات والقوانين المنطقية في معالجة البيانات كقانون لويس وبيل وقانون ليبنزون [4] [5].
- الموديلات الرياضية الإحصائية (الاحتمالية): تعتمد على احتمالية توزع الصفات الخزنية للطبقات بناءً على خواصها الجيولوجية وتجانسها الأفقي والعمودي [6].
- موديلات الإزاحة (الاماهة): تعتمد على التعامل مع معطيات الاماهة الفعلية بناء على اقتراح العالم افروس عام 1959[2]. تستعمل هذه الموديلات لتقدير الاحتياطي وكمية الإنتاج وعامل المردود.
- الموديلات الرياضية الهيدروديناميكية: وتعتمد على تطبيق قوانين الجريان الهيدروليكي في الأنابيب على الإزاحة في الطبقات المتجانسة والمستوية وباتجاه واحد.
- الموديلات الرياضية ثلاثية الأبعاد: تعتمد على بناء نماذج جيولوجية دقيقة ومن ثم وضع الموديلات الهيدروديناميكية الممثلة لحركة السوائل.

وعلى الرغم من النتائج الجيدة للموديلات الفيزيائية والرياضية إلا أنّها في الغالب معقدة ومكلفة ومعظمها صعب التكرار وهذا أمر ضروري لتبيان كل الاحتمالات الممكنة لحل مسائل تقدير الاحتياطي والإنتاج.

إنّ الاستعانة بمعادلات توازن المادة وضمنا الموديلات الرياضية ثلاثية الأبعاد التي لها تقريبا مساوئ الطرق السابقة نفسها من حيث صعوبتها وتكلفتها العالية ممكن فقط في مراحل متقدمة من عمل المكامن حيث يتطلب كماً من المعطيات الإنتاجية لإعطاء نتائج مقبولة.

من هنا تبرز أهمية حل المسائل العكسية في الصناعة النفطية التي تعتمد على استعمال المعطيات الإنتاجية الفعلية لإعادة تصحيح نتائج الموديلات والطرق السابقة المذكورة أعلاه بالاستفادة من القوانين العلمية العامة لتفسير الظواهر الطبيعية ومنها قوانين الإحصاء والاحتمال الرياضي كإحدى أبسط الطرق أسهلها.

في هذا الإطار ومنذ العام 1959 وبفضل جهود العالم افروس وغيره من الباحثين والعاملين في مجال النفط انتشر التحليل الترابطي على نطاق واسع لحل الكثير من المسائل العملية ولا سيما المتعلقة بتقديرات الاحتياطي وإنتاج النفط من الآبار والمكامن وتقدير زمن الاماهة بناء على المعطيات الإنتاجية[4] .

تبين أثناء مراجعة خطط الإنتاج والاحتياطي لبعض الحقول العاملة، أنَّ هناك الكثير من الحالات التي يتجاوز فيها الإنتاج الفعلي للحقول الاحتياطي القابلة للإنتاج منها في وقت لا يزال المكمن يعطي إنتاجاً بكميات جيدة، وزمن اماهة الآبار العاملة في المكمن نفسه مختلف إلى حد بعيد.

من هنا جاءت أهمية إيجاد طريقة سريعة وغير مكلفة لمراجعة احتياطي وخطط إنتاج هده الحقول ومراقبة سلوك الاماهة.

## هدف البحث:

يتمحور هدف البحث حول النقاط الرئيسية ألأتية:

- استنتاج موديل رياضي لحساب الاحتياطي القابل للإنتاج من الآبار بناء على المعلومات الإنتاجية المتوفرة في بداية الاستثمار للحقول المدروسة.
- التوصل إلى علاقة تحليلية تربط بين كل من إنتاج الآبار الأولي والأعظمي مع الاحتياطي القابل للإنتاج لاستخدامها في تقدير الاحتياطي القابل للإنتاج عند توافر عدد كاف من الآبار العاملة في المكمن.
- استنتاج موديل رياضي للتنبؤ بإنتاج الآبار بناء على المعلومات الإنتاجية وبما يتوافق مع تقديرات الاحتياطي القابل للإنتاج.
- استنتاج علاقة تحليلية تربط بين بعد المجالات المثقبة في الآبار عن مستوى التقاء النفط- ماء وبين زمن ظهور الماء مع النفط المنتج في حقول الحسكة.

## مواد وطرق البحث:

لإنجاز هذا البحث تم الاعتماد على القوانين العلمية العامة لتفسير الظواهر الطبيعية ومنها قوانين الإحصاء والاحتمال الرياضي وتطبيقها على المعطيات الفعلية لبعض الحقول النفطية في سوريا.

يعد البئر مع الاحتياطي القابل للإنتاج منه الوحدة الأساسية للمنظومة الإنتاجية في الحقول، مما يبرز أهمية التنبؤ باحتياطي الآبار ومؤشرات عملها كلٌ على حده كإحدى طرق حسابات الاحتياطي الكلي للمكامن والتنبؤ بمؤشراتها الإنتاجية.

يمكن حساب الاحتياطي القابل للإنتاج من البئر $Q_\infty$ انطلاقا من المعادلة المعروفة:

$$q_H = q_0 * e^{-bt}, \quad .....(3)$$

حيث أنّ:

$q_0$ - الإنتاج الأولي للبئر،

$q_H$ - إنتاج النفط الحالي، $b$ -عامل عددي يحدد بناء على المعطيات الفعلية لكل حقل على حدة، $t$-الزمن.

وعندما تنتهي t إلى اللانهاية سيتم إنتاج القيمة العظمى من البئر وبالتالي فان تكامل طرفي المعادلة السابقة بالنسبة للزمن من الصفر إلى اللانهاية يمكننا من الحصول على قيمة الاحتياطي القابل للإنتاج:

$$Q_\infty(t) = \frac{q_0}{b}(1 - e^{-bt}), \quad .....(4)$$

ومنه نجد العامل $b$:

$$b = \frac{q_0}{Q_\infty}, \quad .....(5)$$

وبالتالي تأخذ العلاقة (3) الشكل:

$$q_H(t) = q_0 e^{-\frac{q_0}{Q_\infty}t}, \quad .....(6)$$

ومنه نحصل على الاحتياطي القابل للإنتاج من البئر بناء على الإنتاج الأولي $q_0$ والحالي $q_H(t)$ .

$$Q_{\infty} = \frac{q_0}{\ln \frac{q_0}{q_H(t)}} t, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

تسمح هذه العلاقة بحساب الاحتياطي القابل للإنتاج من أي بئر بعد معرفة قيمتين فعليتين فقط من إنتاجه (اليومي أو الشهري أو السنوي) وبناء على ذلك تم وفق العلاقة (7) حساب احتياطي عد كبير من الآبار العاملة في حقول الرميلان والجفرا في شرق سوريا ومن ثم جمع قيم الاحتياطي المحسوبة، وبالنتيجة التوصل إلى الاحتياطي القابل للإنتاج من هذه الحقول.

## النتائج والمناقشة

كما هو مبين في الجدولين رقم (1) و (2)، فقد تم الاعتماد على أكبر قدر ممكن من الابار الانتاجية العاملة في حقلي الرميلان والجفرا السوريين، ومن ثم احتساب وتقدير الإحتياطي النفطي القابل للاستخراج من كل بئر لتقييم وتقدير اجمالي الاحتياطي القابل للإنتاج من حقل الرميلان والذي قدر بـــ 64.4 مليون برميل (جدول 1)، كما كان إجمالي الاحتياطي القابل للإنتاج المحتسب لحقل الجفرا في حدود 156.4 مليون برميل (جدول 2).

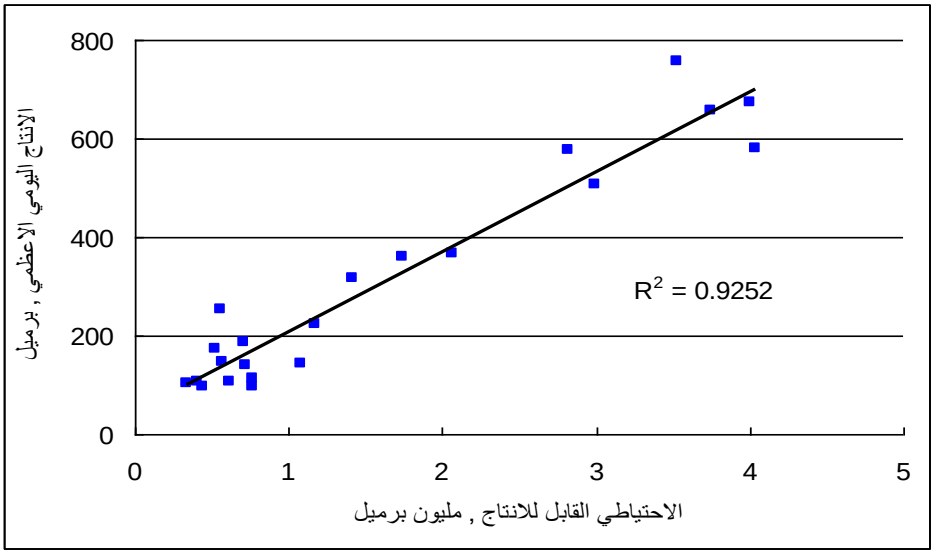
الجدول 1. الاحتياطي القابل للإنتاج من آبار حقل الرميلان.

| رقم البئر | 1 | 3 | 4 | 6 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 19 | 28 | 46 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الاحتياطي القابل للإنتاج، مليون برميل | 3.7 | 4.4 | 3.6 | 4.0 | 1.7 | 3.5 | 3.4 | 1.4 | 2.1 | 4.0 | 3.0 | 2.8 | 0.6 |
| رقم البئر | 47 | 48 | 52 | 53 | 56 | 57 | 60 | 61 | 62 | 63 | 69 | 71 | الاجمالي |
| الاحتياطي القابل للإنتاج، مليون برميل | 0.8 | 0.6 | 1.1 | 0.8 | 0.5 | 0.6 | 1.2 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.7 | 46.4 |

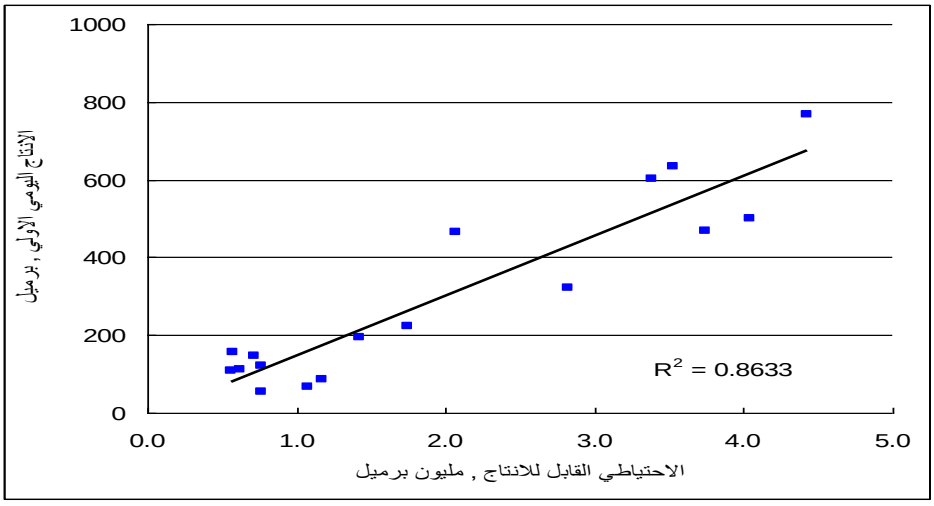
الجدول 2. الاحتياطي القابل للإنتاج لبعض آبار حقل الجفرا.

| **رقم البئر** | 1 | 2 | 4 | 5 | 6 | 10 | 11 | 12 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **الاحتياطي القابل للإنتاج، مليون برميل** | **29.0** | **18.8** | **21.4** | **14.8** | **16.9** | **18.4** | **52** | **8.8** | **2.0** | **3.2** |
| **رقم البئر** | **16** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **الاجمالي** | |
| **الاحتياطي القابل للإنتاج، مليون برميل** | **7.1** | **3.1** | **1.7** | **1.2** | **1.3** | **1.3** | **0.6** | **1.7** | **156.4** | |

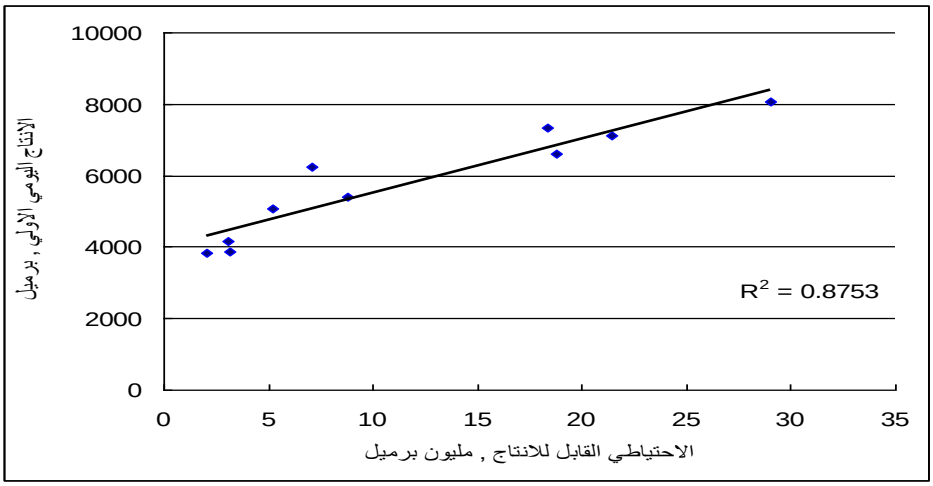
تبين أيضا بعد حساب احتياطي الآبار انطلاقا من إنتاجها الأولي أو الاعظمي أن هناك علاقة خطية وثيقة بين قيم الاحتياطي والإنتاج، وهذه العلاقة يمكن استنتاجها لكل حقل أو منطقة وبعامل دقة يصل إلى 90%، وبالتالي يعتبر ذلك من الطرق السهلة والسريعة لحساب احتياطي الآبار وبالتالي المكامن لاستخدامها في المستقبل كما تبين الأشكال رقم (1) و (2) و (3).




الشكل 1. العلاقة بين الإنتاج الأعظمي لآبار حقل الرميلان واحتياطياتها القابلة للإنتاج.

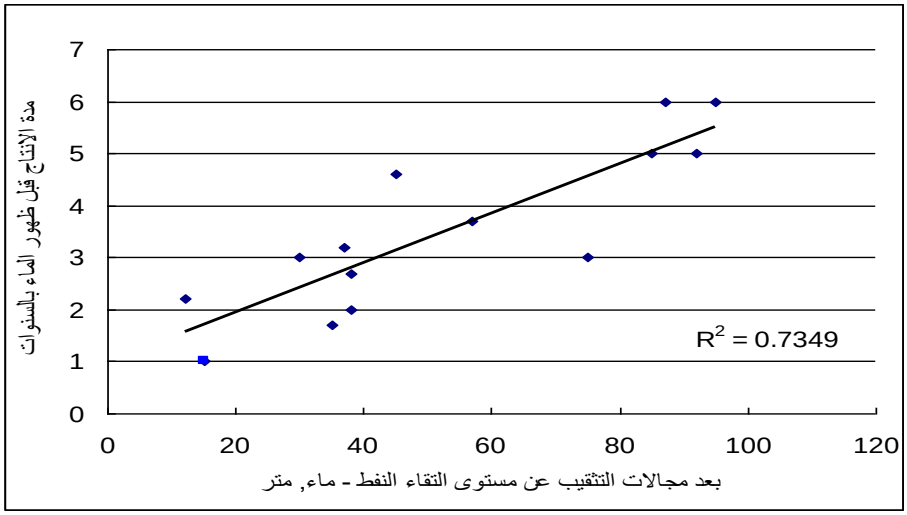



الشكل 2. العلاقة بين الإنتاج الأولي لآبار حقل الرميلان واحتياطياتها القابلة للإنتاج.




الشكل 3. العلاقة بين الإنتاج الأعظمي لآبار حقل الجفرا واحتياطياتها القابلة للإنتاج.

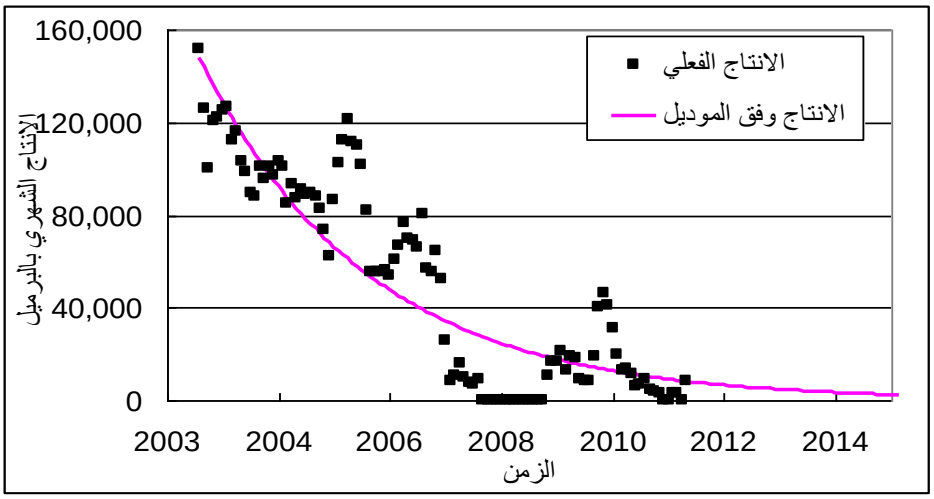
في إطار التحليل الترابطي ومن خلال دراسة سلوك اماهة آبار منطقة الحسكة ظهر أنَّ مدة الإنتاج قبل بدء الاماهة مختلفة في آبار المنطقة الواحدة التي يفترض أنها متشابهة في أدائها. إنَّ الاختلاف الكبير في مدة الإنتاج قبل بدء الاماهة بين آبار الحقل الواحد يعود إلى اختلاف بعد مجالات التثقيب عن مستوى التقاء النفط – ماء. من خلال دراسة وتحليل سلوك وطبيعة الاماهة في آبار حقل الرميلان أمكن التوصل الى علاقة تحليلية تربط بين بعد مجالات التثقيب عن مستوى التقاء النفط – ماء وزمن بدء الاماهة الشكل (4).



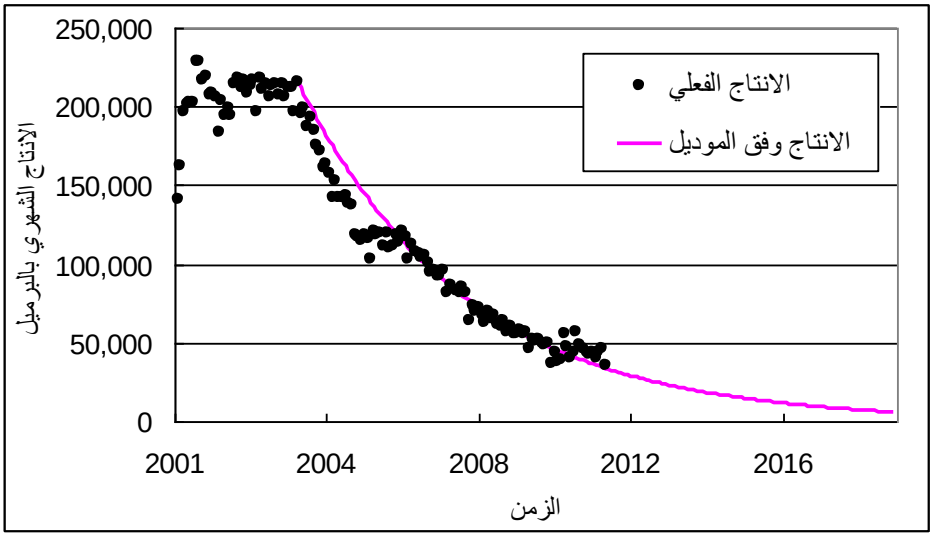

الشكل 4. العلاقة بين بعد مجالات التثقيب عن مستوى التقاء النفط – ماء وزمن بدء الاماهة في آبار حقل الرميلان.

تم استخدام الموديل الرياضي التجريبي (6) لتوصيف إنتاج آبار حقل الجفرا وجمع قيمها للحصول على الإنتاج الكلي للمكمن والتنبؤ بخطة الإنتاج المستقبلية، الأشكال (5)، (6)، (7).

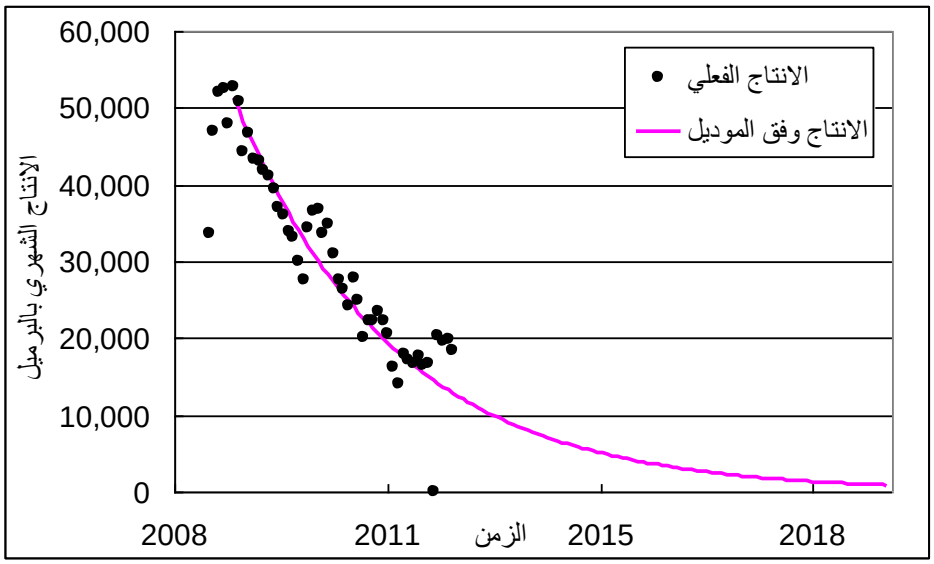
تعكس هذه الأشكال ثلاثة نماذج لسلوكية إنتاج الآبار مع الزمن، فالشكل (5) يمثل الحالة الشائعة لإنتاج البئر الذي يتناقص بشكل تدريجي منذ بداية عمله. في حين تحافظ بعض الآبار على إنتاجية شبه ثابتة لفترة قد تطول لعدة سنوات (الشكل 6). وهناك حالة ثالثة تتميز بتزايد الإنتاج لمدة معينة ومن ثم يبدأ بالتناقص التدريجي (الشكل 7)، في الحالتين الأخيرتين يمكن تجزئة فترة عمل الآبار، حيث يتم حساب الاحتياطي القابل للإنتاج بدءا من بداية تناقص الإنتاج وإضافة الإنتاج السابق إليه للحصول على الاحتياطي الكلي للبئر وبالتالي المكمن.




الشكل 5. التمثيل الرياضي لإنتاج البئر 11 -حقل الجفرا



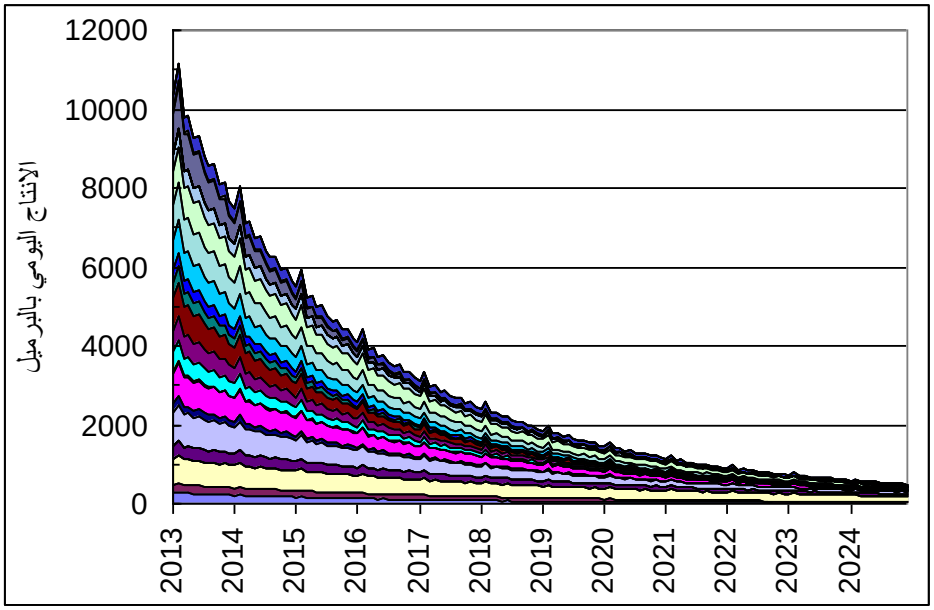

الشكل 6. التمثيل الرياضي لإنتاج البئر 10 -حقل الجفرا




الشكل 7. الموديل الإنتاجي للبئر رقم 19 من حقل الجفرا

إنّ حساب الاحتياطي القابل للإنتاج لكل الآبار العاملة في المكمن وحساب الإنتاج المتوقع مع الزمن وفق الموديل السابق هو في الحقيقة وضع خطة الإنتاج للمكمن وتحديد عامل مردوده النهائي المتوقع وفق نظام التشغيل المعتمد للآبار كما يساعد على تحديد الآبار التي تتطلب تعديلا في نظام عملها أو تلك التي تتطلب عمليات تحسين و يساعد في توجيه خطة الحفر الاستكشافي أو التطويري للحقول وهذا هو الأساس في إدارة المكمن بشكل عام.

الشكل (8) يبين خطة الإنتاج لحقل الجفرا كمجموع لإنتاج الآبار العاملة والمخطط حفرها مستقبلا محسوبة وفق ما سبق.




الشكل 8. خطة الإنتاج الكلية لحقل الجفرا كمجموع لإنتاج الآبار مع الزمن

وعليه هو انطلاقاً من هذه النتائج يمكن القول بأنه:

1. يمكن اعتماد مجموع الاحتياطيات القابلة للإنتاج لكل الآبار في المكمن كإحدى طرق حساب احتياطيات المكمن.
2. هناك علاقة خطية وثيقة بين الاحتياطي القابل للإنتاج وكل من الإنتاج الأعظمي والإنتاج الأولي للآبار، وهو أمر مهم في التنبؤ أداء عملها.
3. هناك علاقة خطية وثيقة بين بعد مجالات تثقيبها عن خط التقاء النفط بالماء وبين زمن ظهور الماء في إنتاجها.
4. يمكن التنبؤ بإنتاج الآبار باستخدام الموديل الديناميكي (6) ومن ثم التوصل إلى خطة إنتاج الحقل.

## المراجع:


1. اميلين أي. د. (1982م)، تحديد الاحتياطيات النفطية القابلة للاسترداد حسب خصائص النزوح مع الأخذ مع الأخذ بعين الاعتبار استغلال المكمن في الحدود الربحية – مجلة "الصناعة النفطيه" رقم 5، ص 7-9.
2. اميلين أي. د.، سورجاتشيف م. ل.، داديدوف ا. ف.، 1994م: التنبؤ باستغلال مكامن النفط في المراحل المتأخرة. 308ص.
3. افروس د. ا.، 1959م: حساب الاعتماد على حجم إنتاج النفط على حجم المياه المحقونة لنظام متعدد الصفوف. – مجلة علمية تقنية لإنتاج النفط العدد 3، ص. 27-36.
4. بايشيف ب. ت.، عيسايتشف ف. ف.، اجاندجانتس ف. ج.، 1971م: طريقة التنبؤ بالمؤشرات التكنولوجية لعملية الغمر المائي على المؤشرات العامة للإزاحة. مجلة "الصناعة النفطية" – رقم 10، ص 34-39.
5. بيسكوف ن. س.، 1997م: حسابات التفاضل والتكامل. كتاب للكليات التقنية، ص 416.
6. زايتسيف ف. م.، 1997م: التنبؤ ببيانات إنتاج النفط والغاز على الآبار في ظل نظام الغاز المذاب. مجلة "الصناعة النفطية" العدد 7، ص 1-7.
7. زايتسيف ف. م.، اندريف ا. ف.، بانوف ج. ي.، 1987م: تحليل مؤشرات استثمار مكامن النفط والتنبؤ بها. إصدارات معهد نفط موسكو. ص1-12.
8. Dake L.P., 1983: Fundamentals of reservoir engineering. Printbook, New York.p 4-7.

# Using correlation analysis and empirical mathematical models for estimating oil reserves in Syrian oil reservoirs

**[1]Abdulla Ali aldumbi , Hussain Ali Ahmad[2] and Edemon Slalom[3]**
[1]Faculty of Science, Aden University
[2]Deir Ez Zor Petroleum Company
[3]Syrian private University
DOI: https://doi.org/10.47372/uajnas.2017.n2.a07

## Abstract

This study shows a new method for estimating oil reserves for wells and reserves as well as for forecasting wells and reservoirs production using correlation analysis and empirical mathematical modeling based on actual production data.

The study focuses on the first stage of working history while almost of existing studies solved, such issues just having a long data history.

The study resulted in that the reserves and production profiles can be estimated with high accuracy factor (up to 90%) using both empirical modeling and correlation analysis between well reserves and their initial or maximum production.

**Key words:** reserves, production, well, reservoir, production data, analytical correlation, mathematical modeling.