استخدام التحليل الترابطي و الموديلات الرياضية التجريبية لتحديد الاحتياطي القابل للإنتاج من المكامن النفطية السورية

الدكتور المهندس ادمون سلوم **ستاذ مساعد في الجامعة السورية الخاصة**

الدكتور المهندس حسين احمد **شركة دير الزور للنفط**

الدكتور عبدالله علي الدمبي **جامعة عدن – كلية العلوم**

الملخص

تظهر هذه الدراسة مقاربة جديدة في حل مسالة حسابات الاحتياطي القابل للإنتاج من المكامن النفطية انطلاقا من حساب كمية النفط التي يمكن إنتاجهامن من الآبار العاملة في هذه المكامن, و كذلك في إمكانية تحديد كمية الانتاج المتوقعة بالعلاقة مع الزمن من هذه المكامن و ذلك باستخدام التحليل الترابطي و الموديلات الرياضية التجريبية القائمة أساسا على المعطيات الإنتاجية الفعلية للآبار كإحدى طرق معالجة البيانات الإحصائية. ركزت الدراسة على المراحل الأولى لعمل المكامن في حين اتجهت معظم الدراسات السابقة الى التنبؤ بالإنتاج بعد توفر كم كبير من المعطيات الحقلية,حيث أمكن 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 الاعظمي لكل بئر و بين الاحتياطي القابل للإنتاج منه.

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

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

Dr .Edemon Mtaneos salloum **Syrian private university**
Dr. eng. Hussain ahmad **Deir ez zor petroleum company**
Dr.Abd allah Ali Aldmpy **Aden university**

ABSTRACT

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

The study focuses on 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.

استخدام التحليل الترابطي و الموديلات الرياضية التجريبية لتحديد الاحتياطي القابل للإنتاج من المكامن النفطية السورية

الدكتور المهندس ادمون سلوم **أستاذ مساعد – الجامعة السورية الخاصة**

الدكتور المهندس حسين احمد **شركة دير الزور للنفط**

الدكتور عبدالله علي الدمبي **جامعة عدن – كلية العلوم**

1- مقدمة:

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

عرفت الصناعة النفطية خلال مراحل تطورها العديد من الطرق لتقديرالاحتياطي القابل للإنتاج من الحقول النفطية وبالتالي ملكية و إنتاج الشركات لأهمية ذلك في بناء المنشات النفطية المناسبة سواء في الحقول مباشرة أو لجهة تصميم خطوط النقل المناسبة و تامين تكرير النفط أو تصديره و كذلك تامين الأسواق الاستهلاكية وصولا إلى تامين الكوادر الفنية اللازمة للعمل و تحديد قيم أصول و أسهم الشركات النفطية المساهمة.

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

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

حبث ان:V - حجم المكمن, ϕ – المسامية, S_{wc} – التشبع بالمياه المترابطة,

B_{oi} – العامل الحجمي للنفط.

بينما يقوم مهندسو المكامن بتقدير الاحتياطي القابل للإنتاج (Q_∞) معتمدين على النتائج المخبرية لفحص العينات الاسطوانية والفتاتية والموائع الطبقية والشبكة المحتملة لتوزع الآبار مستخدمين عوامل الإزاحة (E_D) والكنس الأفقي و العمودي (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 انتاجها من هذا الاحتياطي بتطبيق قانون دارسي المعروف. وفي كثير من الأحيان يتم الاستعانة بالموديلات الفيزيائية و الرياضية للمكامن و موديلات عمليات الإزاحة فيها لحل مسائل تقدير الاحتياطي القابل للإنتاج ووضع خطة الإنتاج مع الزمن , حيث توصف هذه الموديلات المكامن و حركة السوائل فيها بطريقة علمية تعكس كل مواصفاتها الجيولوجية والخزنية المتوفرة.

يمكن تصنيف طرق إنشاء موديلات المكامن و عمليات الإزاحة فيها إلى طرق فيزيائية وأخرى رياضية, حيث تعتمد الطرق الفيزيائية على التشابه القائم بين توزع الضغوط والقوانين الناظمة لحركة السوائل في الطبقات مع غيرها من الظواهر الطبيعية الأخرى كحركة و توزع 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 و قانون بوازيل للجريان اللزج

– الموديلات الفيزيائية الحرارية: تقوم على التشابه بين معادلتي توزع وانتشار ا لحرارة والضغوط ,حيث تبرز أهمية هذه الموديلات في دراسة و تقدير إنتاج النفط اللزج.

– 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 و المعطيات الأولية الجيولوجية والانتاجية المتوفرة ومن ثم تفعيله للحصول على النتائج الأولية التي تجري مقارنتها بالمعطيات الفعلية ليصار إلى تدقيق الموديلات واخراجها 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 [2].

– الموديلات الرياضية الإحصائية (الاحتمالية): تعتمد على احتمالية توزع الصفات الخزنية للطبقات بناءً على خواصها الجيولوجية وتجانسها الأفقي والعمودي [3].

– موديلات الإزاحة (الاماهة): و تعتمد على التعامل مع معطيات الاماهة الفعلية بناء على اقتراح العالم افروس عام 1959[4]. تستعمل هذه الموديلات لتقدير الاحتياطي وكمية الإنتاج وعامل المردود.

– الموديلات الرياضية الهيدروديناميكية: و تعتمد على تطبيق قوانين الجريان الهيدروليكي في الأنابيب على الإزاحة في الطبقات المتجانسة والمستوية وباتجاه واحد.

– الموديلات الرياضية ثلاثية الأبعاد: و تعتمد على بناء نماذج جيولوجية دقيقة ومن ثم وضع الموديلات الهيدروديناميكية الممثلة لحركة السوائل.

بالرغم من النتائج الجيدة للموديلات الفيزيائية و الرياضية إلا أنها في الغالب معقدة و مكلفة و معظمها صعب التكرار, و هذا أمر ضروري لتبيان كل الاحتمالات الممكنة لحل مسائل تقدير الاحتياطي والإنتاج.

إن الاستعانة بمعادلات توازن المادة و ضمنا الموديلات الرياضية ثلاثية الأبعاد و التي لها تقريبا نفس مساوئ الطرق السابقة من حيث صعوبتها و تكلفتها العالية ممكن فقط في مراحل متقدمة من عمل المكامن حيث يتطلب كما من المعطيات الإنتاجية لإعطاء نتائج مقبولة.

من هنا تبرز أهمية حل المسائل العكسية في الصناعة النفطية التي تعتمد على استعمال على المعطيات الإنتاجية الفعلية لإعادة تصحيح نتائج الموديلات و الطرق السابقة المذكورة أعلاه و ذلك بالاستفادة من القوانين العلمية العامة لتفسير الظواهر الطبيعية و منها قوانين الإحصاء و الاحتمال الرياضي كإحدى ابسط و أسهل الطرق.

في هذا الإطار و منذ العام 1959 و بفضل جهود العالم افروس و غيره من الباحثين و العاملين في مجال النفط انتشر التحليل الترابطي على نطاق واسع لحل الكثير من المسائل العملية و لا سيما المتعلقة بتقديرات الاحتياطي و إنتاج النفط من الآبار و المكامن و تقدير زمن الاماهة بناء على المعطيات الإنتاجية.

تبين أثناء مراجعة خطط الإنتاج و الاحتياطي لبعض الحقول العاملة, أن هناك الكثير من الحالات التي يتجاوز فيها الإنتاج الفعلي للحقول الاحتياطي القابلة للإنتاج منها في وقت لا يزال المكمن يعطي إنتاجا بكميات جيدة, إضافة إلى وجود اختلافات واضحة في زمن اماهة الآبار العاملة في نفس المكمن.

من هنا جاءت أهمية إيجاد طريقة سريعة و غير مكلفة لمراجعة احتياطي و خطط إنتاج هده الحقول ومراقبة سلوك الاماهة.

2- هدف البحث:

يتمحور هدف البحث حول النقاط الرئيسية التالية:

- 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 و الاعظمي 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 و بين زمن ظهور الماء مع النفط المنتج في حقول الحسكة.

3- مواد و طرق البحث:

لانجار 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.

يعتبر البئر مع الاحتياطي القابل للإنتاج منه الوحدة الأساسية للمنظومة الإنتاجية في الحقول النفطية, مما يبرز أهمية التنبؤ باحتياطي الآبار ومؤشرات عمل كل بئرعلى حدا كإحدى طرق حسابات الاحتياطي الكلي للمكامن و التنبؤ بمؤشراتها الإنتاجية.

يمكن حساب الاحتياطي القابل للإنتاج من البئر Q_∞ انطلاقا من المعادلة المعروفة:

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

حيث أن:

q_0 - الإنتاج الأولي للبئر, q_H - إنتاج النفط الحالي, b - عامل عددي يحدد بناء على المعطيات الفعلية لكل حقل على حدا, t - الزمن.

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

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

و منه نجد العامل b:

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

و بالتالي تأخذ العلاقة (3) الشكل:

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

و منه نحصل على الاحتياطي القابل للإنتاج من البئر بناء على الإنتاج الأولي q_0 و الحالي $q_H(t)$.

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

تسمح هذه العلاقة بحساب الاحتياطي القابل للإنتاج من أي بئر بعد معرفة قيمتين فعليتين فقط من إنتاجه (اليومي أو الشهري أو السنوي) و بناء على ذلك تم وفق العلاقة (7) حساب احتياطي عد كبير من الآبار العاملة في حقول الرميلان و الجفرا في شرق سوريا و من ثم جمع قيم الاحتياطي المحسوبة, وبالنتيجة التوصل إلى الاحتياطي القابل للإنتاج من هذه الحقول كما هو مبين في الجدولين رقم (1) و (2).

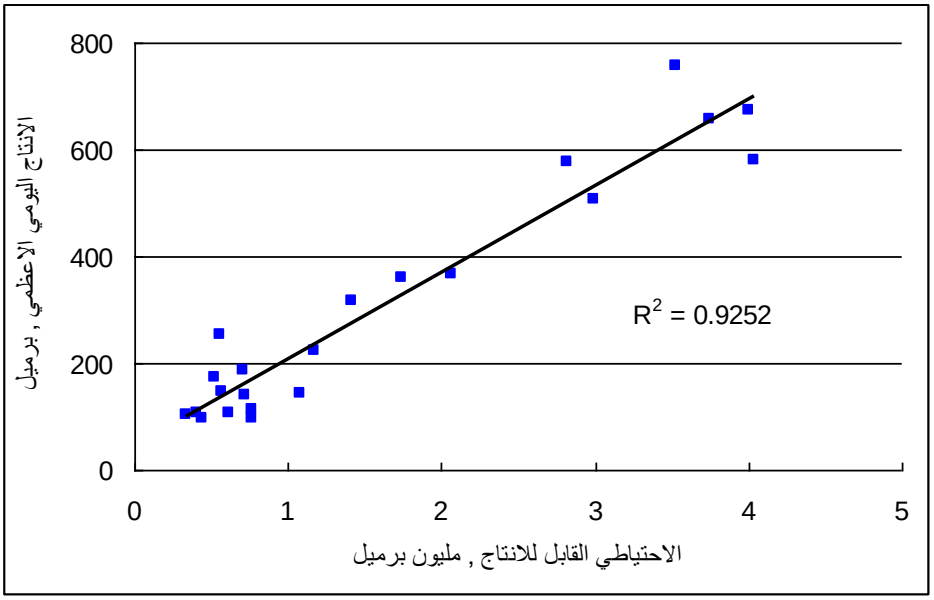
الجدول 1. الاحتياطي القابل للإنتاج من آبار حقل الرميلان.

رقم البئر	1	3	4	6	10	11	12	13	14	15	19	28	46	47	48	52	53	56	57	60	61	62	63	69	71	الاجمالي
الاحتياطي القابل للانتاج, 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	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

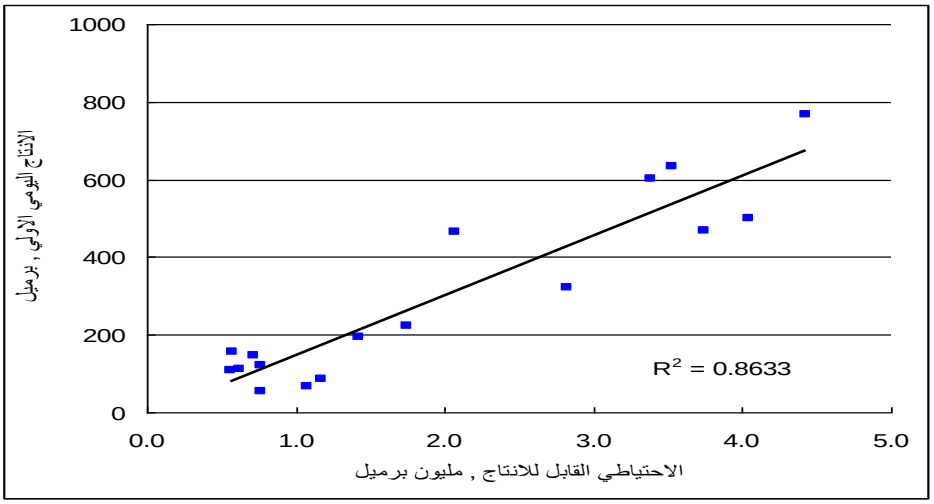
الجدول 2. الاحتياطي القابل للإنتاج لبعض آبار حقل الجفرا.

رقم البئر	1	2	4	5	6	10	11	12	14	15	16	18	19	20	21	22	23	24	الاجمالي
الاحتياطي القابل للانتاج, مليون برميل	29.0	18.8	21.4	14.8	16.9	18.4	5.2	8.8	2.0	3.2	7.1	3.1	1.7	1.2	1.3	1.3	0.6	1.7	156.4

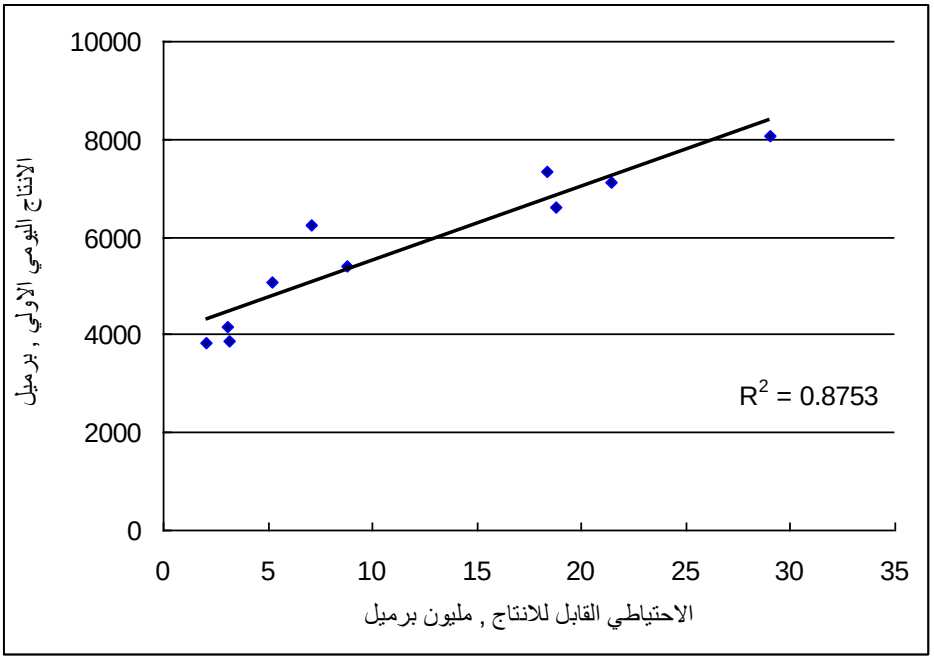
تبين أيضا بعد حساب احتياطي الآبار انطلاقا من إنتاجها الأولي أو الاعظمي أن هناك علاقة خطية وثيقة بين قيم الاحتياطي والإنتاج, و هذه العلاقة يمكن استنتاجها لكل حقل أو منطقة و بعامل دقة يصل إلى 90% و بالتالي يعتبر ذلك من الطرق السهلة و السريعة لحساب احتياطي الآبار و بالتالي المكامن لاستخدامها في المستقبل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



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

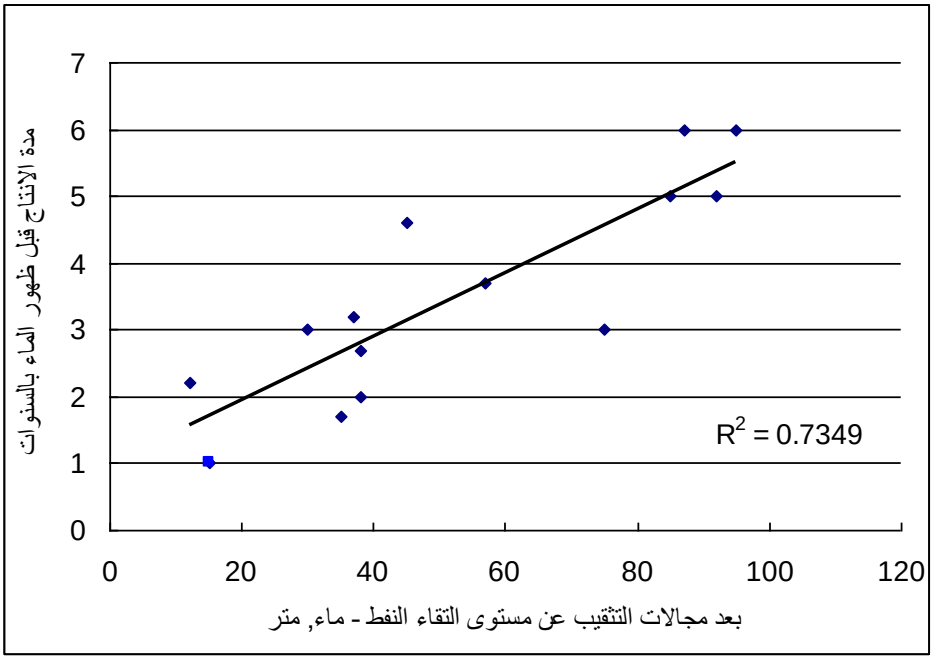


الشكل (2). العلاقة بين الإنتاج الأولي لآبار حقل الرميلان واحتياطياتها القابلة للإنتاج.



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

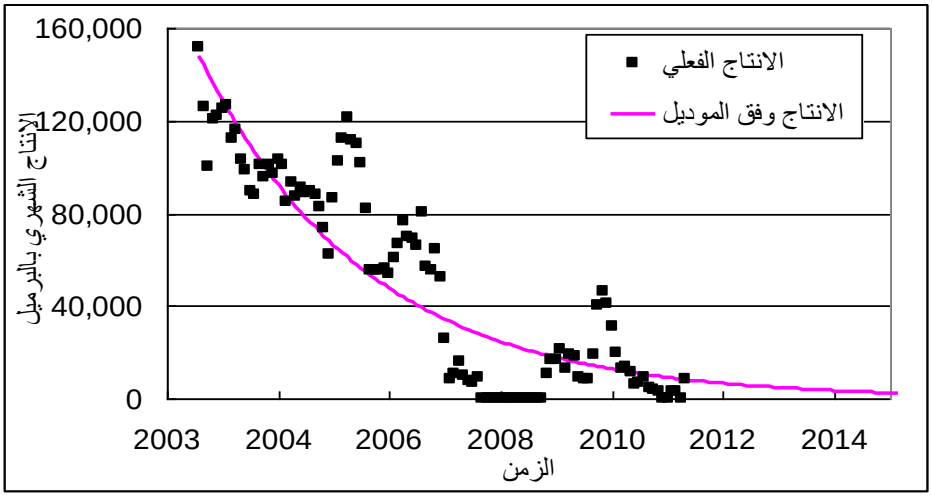
في إطار التحليل الترابطي و من خلال دراسة سلوك اماهة آبار منطقة الحسكة أن مدة الإنتاج قبل بدء الاماهة مختلفة في آبار المنطقة الواحدة و التي يفترض أنها متشابهة في أدائها. إن الاختلاف الكبير في مدة الإنتاج قبل بدء الاماهة بين آبار الحقل الواحد يعود إلى اختلاف بعد مجالات التثقيب عن مستوى التقاء النفط – ماء. من خلال دراسة و تحليل سلوك و طبيعة الاماهة في آبار حقل الرميلان امكن التوصل الى علاقة تحليلية تربط بين بعد مجالات التثقيب عن مستوى التقاء النفط – ماء و زمن بدء الاماهة الشكل (4).



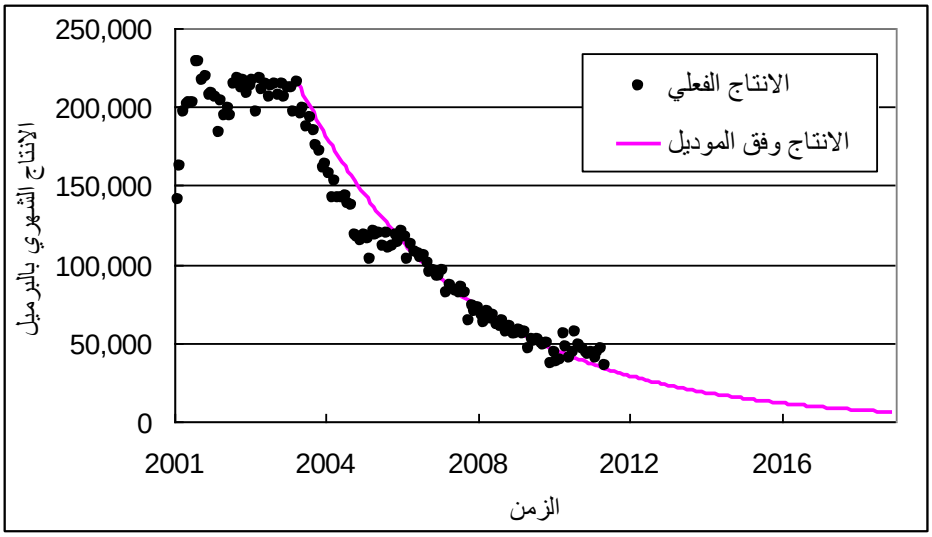
الشكل (4). العلاقة بين بعد مجالات التثقيب عن مستوى التقاء النفط – ماء و زمن بدء الاماهة في آبار حقل الرميلان.

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

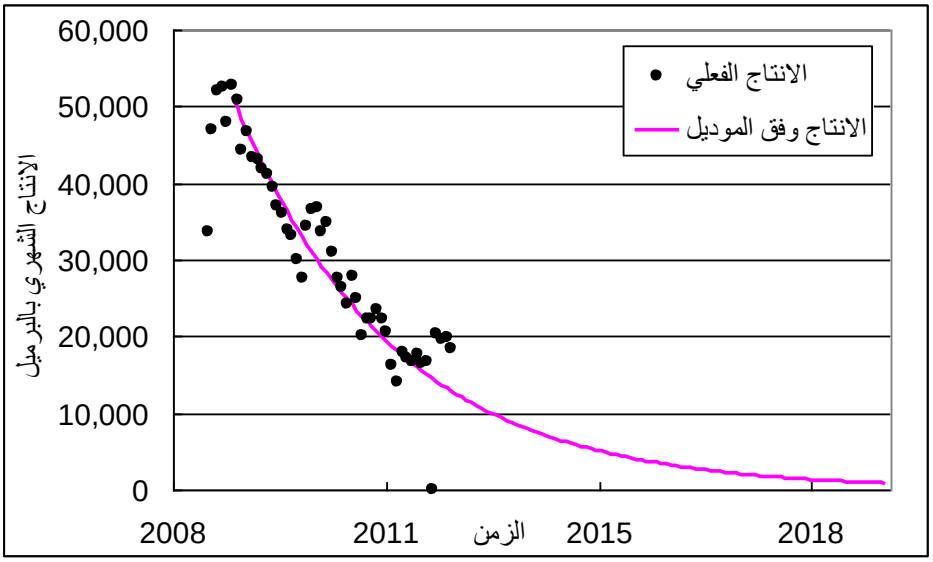
تعكس هذه الأشكال ثلاثة نماذج لسلوكية إنتاج الآبار مع الزمن, فالشكل (5) يمثل الحالة الشائعة لإنتاج البئر الذي يتناقص بشكل تدريجي منذ بداية عمله. بينما تحافظ بعض الآبار على إنتاجية شبه ثابتة لفترة قد تطول لعدة سنوات (الشكل 6). و هناك حالة ثالثة تتميز بتزايد الإنتاج لمدة معينة و من ثم يبدأ بالتناقص التدريجي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



الشكل (5). التمثيل الرياضي لإنتاج البئر 11 – حقل الجفرا



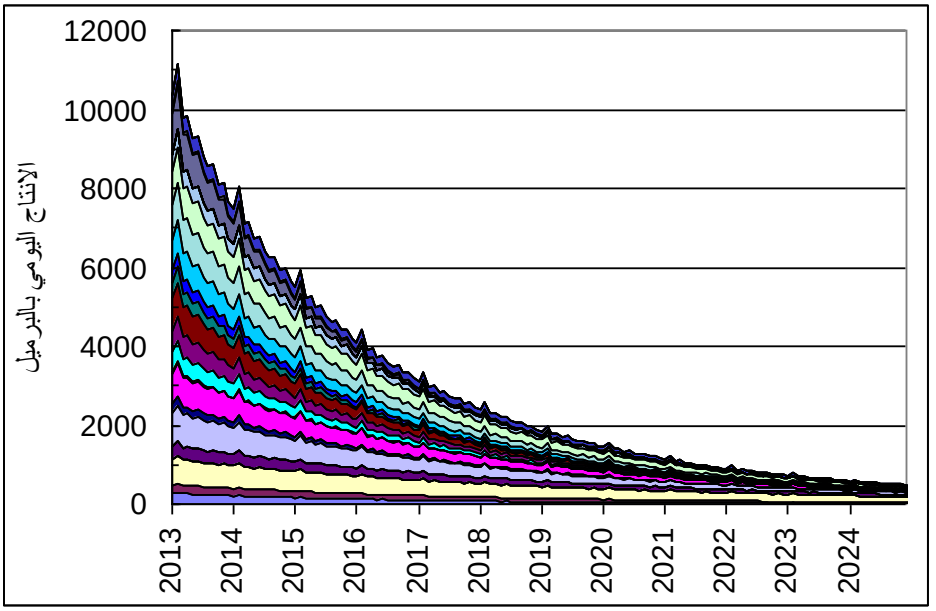
الشكل (6). التمثيل الرياضي لإنتاج البئر 10 – حقل الجفرا



الشكل (8). الموديل الإنتاجي للبئر رقم 19 من حقل الجفرا

إن حساب الاحتياطي القابل للإنتاج لكل الآبار العاملة في المكمن و حساب الإنتاج المتوقع مع الزمن وفق الموديل السابق هو في الحقيقة وضع خطة الإنتاج للمكمن و تحديد 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 كما 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 و المخطط حفرها مستقبلا محسوبة وفق ما سبق.



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

4- النتائج:

من خلال البيانات التي تم التوصل اليها أعلاه يمكن ذكر النقاط الهامة التالية :

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 و كل من الإنتاج الأعظمي و الإنتاج الأولي للآبار ، وهو أمر مهم في التنبؤ أداء عملها.

3. هناك علاقة خطية وثيقة بين بعد مجالات تثقيبها عن خط التقاء النفط بالماء و بين زمن ظهور الماء في إنتاجها.

4- يمكن التنبؤ بإنتاج الآبار باستخدام الموديل الديناميكي (6) و بالتالي التوصل إلى خطة إنتاج الحقل أو الشركة.

5- المقترحات والتوصيات:

بناء على ما سبق يمكن التوصية باستخدام الموديل (7) لتقدير الاحتياطي القابل للإنتاج من البئر بعد الحصول على قيمتين أساسيتين ممثلتين للإنتاج منه (الأولي والحالي) و بعد حفر و اختبار عدة آبار في المنطقة يمكن بناء علاقة ترابطية بين الإنتاج الأولي و الاحتياطي القابل للإنتاج و من ثم تطبيقهالاحقا لتقدير الاحتياطي من الآبار التي سوف يتم حفرها في المنطقة مستقبلاً , و يمكن في كلتا الحالتين استخدام الموديل الرياضي (6) للتنبؤ بإنتاج الآبار بعد الحصول على القيمتين الأساسيتين للإنتاج و من ثم جمع إنتاج الآبار للتنبؤ بإنتاج المكمن مع الزمن.

يمكن استنتاج علاقة تجريبية لكل منطقة تربط بين بعد مجالات التثقيب عن المستوى المائي و بين زمن الانتاج اللامائي و استخدامها لتقدير البعد العقلاني لمجالات التثقيب عن المستوى المائي.

المراجع (References):

1. Dake L.P., Fundamentals of reservoir engineering. Printbook, New York 1983.
2. Greg Bean,Aditya Rajkumar,Sudams Bai Reddy. Understanding exceptional performance in upstream oil and gas,Articl,2014.
3. Michelle Rey, Correlation analysis,Articl 2015.
4. Баишев Б. Т., Исайчев В. В., Оганджанянц В. Г. Метод прогноза технологических показателей процесса обводнения по обобщенным характеристикам вытеснения. – “Нефтяное хозяйство”. – М.: Недра, 1971г., № 10, ст. 34 – 39.
5. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление: Учебное пособие для втузов. В 2-х т. Т.1: – М.: Интеграл-Пресс, 1997г. 416с.
6. Амелин И. Д., Определение извлекаемых запасов нефти по характеристикам вытеснения с учетом эксплуатации залежей до предела рентабельности – Нефтяное хозяйство, ВНИИОЭНГ, М., 1982г., № 5, ст.7-9.
7. Эфрос Д. А. Вычисление зависимости объема добычи нефти от объема закачанной воды для многорядной системы. - НТС по добыче нефти ВНИИ, 1959г. вып.3, ст.27-36.
8. Амелин И. Д., Сургучев М. Л., Давыдов А. В., Прогноз разработки нефтяных залежей на поздней стадии. – М.: Недра, 1994г. 308с.
9. Зайцев В. М. Прогнозирование по промысловым данным добычи нефти и газа по скважинам при режиме растворенного газа. Нефтяная промышленность, МИНГ им. И. М. Губкина, ВНИИОЭНГ, М., 1991г., выпуск 7, ст. 1- 7.
10. Зайцев В. М., Андреев А. Ф., Панов Г. Е., Анализ и прогнозирование показателей разработки нефтяной залежи. – М.: МИНГ, 1987г.