الجمهورية العربية السورية
هيئة الطاقـة الذريـة

هـ ط ذ س- و/ ت ن ب ع 357
حزيران 2006

تقرير نهائي عن بحث علمي
قسـم الوقايـة والأمـان

تعيين الرواسب الحرشفية في الصناعة النفطية بتعيين المواد المشعة الطبيعية

إعـداد

الدكتور محمد سعيد المصري

تعيين الرواسب الحرشفية في الصناعة النفطية بتعيين المواد المشعة الطبيعية

الدكتور محمد سعيد المصري، قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرية السورية، دمشق، ص.ب. 6091

مستخلص

استخدمت في البحث الحالي المواد المشعة الطبيعية (نظائر الراديوم) التي تحويها المياه المرافقة والقياسات الإشعاعية لدراسة تشكل الرواسب الحرشفية وتعيين عمر تشكلها وطبيعة التشكيلات الجيولوجية وتفاعلات الآبار فيما بينها (Between Wells Interactions). بالإضافة إلى تقييم التغييرات المكانية والشهرية التي تطرأ على تراكيز نظائر الراديوم في المياه المنتجة أثناء إنتاج النفط. جمعت وحللت عينات من المياه المنتجة شهريا على مدار خمسة أشهر، من إحدى عشر بئراً منتجاً للنفط في ثلاثة حقول نفط سورية. شملت التحاليل تعيين نظائر الراديوم وتراكيز بعض الأنيونات والكاتيونات في المياه المرافقة وقياسات إشعاعية لرؤوس الآبار. بلغ أعلى قيمة للمتوسط الحسابي لتراكيز الراديوم226 والراديوم228 والراديوم224 في هذه العينات من المياه 41 بكرل/ل و57.1 بكرل/ل و1.1 بكرل/ل على الترتيب. عولجت معطيات ^{226}Ra و^{228}Ra ونسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ إحصائياً وعرضت باستخدام طريقة الرسم الصندوقي حيث لوحظت تفاوتات واضحة من حقل إلى آخر مشيرة إلى اختلافات في التشكيلات الجيولوجية للأحواض. عكست تغيرات نسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ التغيرات في نسبة كتلة Th/U للتشكيل الجيولوجي مما يدعو للاقتراح بوجود نمطين من صخور المصدر المختلفة، حيث بلغ وسطي نسبة الكتلة المحسوبة Th/U لهذين النمطين المختلفين للصخور المقدارين 2.4 و5.78. بالإضافة إلى ذلك، استخدم وسطي نسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ في المياه المرافقة لتقدير عمر بعض الرواسب المتوضعة في الأنابيب، حيث قورنت النتائج مع طريقة التأريخ باستخدام نسبة نشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ في الرواسب الحرشفية. ومن جهة أخرى، شوهدت تغيرات شهرية في تراكيز نشاط ^{226}Ra و^{228}Ra ونسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ في المياه المرافقة وعزيت الأسباب الرئيسة لهذه التغييرات إلى نوع المياه المحقونة والتفاعلات ما بين الآبار. عولجت العلاقات المحتملة التي تربط بين تراكيز ^{226}Ra و^{228}Ra ونسبة نشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ والخواص الفيزيائية (درجة الحرارة و درجة الحموضة وكمية العوالق) والكيميائية (تركيز الكالسيوم والمغنيزيوم والكبريتات والكربونات) للمياه إحصائياً و لم تتضح أية علاقات خطية، مما يدعو للقول بأن هناك صعوبة

في التنبؤ عن تشكل الرواسب الحرشفية وتعيين النشاط الإشعاعي في المياه المرافقة وربطها بتراكيـز الأنيوينات والكاتيونات.

Keywords	الكلمات المفتاحية
Oil fields	حقول النفط
Produced water	مياه منتجة
Characterization	توصيف
Radium isotopes	نظائر الراديوم
Syria	سورية

Determination of radioactive scales in oil industry using naturally occurring radioactive materials

Al-Masri, M. S.

Abstract

In the present study, naturally occurring radioactive materials (Radium isotopes) present in produced water and radiation measurements have been used to study the formation of scales, evaluate their age, determination of geological formations and between wells interactions. Produced water samples were collected and analyzed monthly for 5 months from 11 oil wells in three Syrian oil fields. Analysis includes radium isotopes and anions and cations concentrations in addition to radiation measurements at the well heads. The highest mean values of radium 226, Radium 228 and Radium 224 concentration in produced were 41 Bq/1, 57.1 Bq/1 and 1.1 Bq/1, respectively. The values obtained for Radium 226, Radium 228 and the activity ratio were statistically evaluated and the results were presented using the box plot method. The mean value of the activity ration of Radium 226 and Radium 228 was used to determine the age of scales accumulated inside tubulars. (author)

Key words: Oil fields, Produced water, Radium isotopes, Syria

المحتويات

1. مقدمة

توجد المواد المشعة الطبيعية في أحواض تكون النفط والغاز، شأنها شأن العناصر المعدنية الأخرى، بتراكيز متباينة، وتخرج هذه المواد مع سوائل الإنتاج خلال عمليات الاستخراج. ولما كان كل من أملاح اليورانيوم والثوريوم جزءاً من هذه التوضعات وفي وسط غير مؤكسد فهي لا تنحل بدرجة كبيرة في سوائل الحوض (مياه عذبة ومياه مالحة ونفط وغاز). بينما تنحل أملاح الراديوم في الماء وتنتقل من هذه التوضعات إلى سطح الأرض مع الماء المرافق للنفط. وتعتمد كمية الراديوم الموجودة في المياه المنتجة والمرافقة للنفط، على طبيعة هذه الصخور و كميتها ومحتواها من اليورانيوم والثوريوم، إضافة إلى الشروط الفيزيائية والكيميائية الموجودة فيها مثل الضغط والحرارة ودرجة الحموضة (PH) (E&P, 1988; Smith, 1987; API, 1992; Heaton & Lambley, 1995). درست آليات انتقال النكليدات المشعة الطبيعية من كل من سلسلتي اليورانيوم238 والثوريوم232 على نطاق واسع في عدد كبير من التشكيلات الجيولوجية والأحواض النفطية (Sun & Semkow1998; Fleischer, 1982; Aberg et al; 1985; Armbrust & Kuroda, 1956)، ويمكن تلخيص عملية انتقال النكليدات المشعة كنظائر الراديوم من مكان توضعها في الرسوبيات إلى المحاليل المحيطة بأربع آليات رئيسية هي:

1. انتشار النكليد في الطور الصلب.
2. انحلاله جزئياً
3. غسله كلياً أو جزئياً من الطبقات السطحية للرسوبيات
4. الارتداد الميكانيكي المباشر جراء إطلاق جسيمات ألفا.

تعد مشكلة تشكل الرواسب الحرشفية من المشاكل المهمة التي تعاني منها عمليات إنتاج النفط والتي تؤدي في كثير من الأحيان إلى خفض الإنتاج، ولهذا فإن معرفة سرعة تشكل الرواسب الحرشفية والكميات المستقبلية المتوقعة لمنشأة ما تفيد في وضع خطط الصيانة والتنظيف اللازمة لهذه المنشأة مما يفيد في خفض تكلفة الإنتاج. ويعزى تشكل الرواسب الحرشفية إلى ترسب كربونات المعادن الترابية القلوية وكبريتاتها بسبب تغيرات الذوبانية من المياه المرافقة للنفط. يرتبط تغير ذوبانية الكبريتات والكربونات بتغيرات درجة الحرارة وتبدلات الضغط والتبخير وطبيعة ومحتوى المياه المرافقة للنفط ومحتواها و حقن المياه غير الملوثة في الآبار بهدف رفع الضغوط حيث ذكر أن إعادة حقن المياه إلى الأحواض للحفاظ على الضغط هي السبب الرئيسي لتشكل الرواسب الحرشفية (El-Hattab, 1985; Vetter *et al.*, 1985; Strand & Lysebo, 1998).

تهتم شركات النفط بالرواسب ليس فقط لأنها تحتوي على المواد المشعة الطبيعية، بل لأنها تتراكم في الأنابيب والمعدات، وهذا يؤدي إلى انقاص معدل الإنتاج وتعطل المعدات (Smith, 1987; Vetter, 1976;

Vetter, 1972; Stripp et al, 1999; Gallup & Featherston, 1995; Vetter et al, 1982; EL-, Hattab, 1983). ولهذا تنجز هذه الشركات ما يسمى بحرب الرواسب الحرشفية في الحقل.

تتكون الرواسب الحرشفية الحاوية للمواد المشعة الطبيعية، من ترسب كربونات الراديوم أو كبريتاته مع كبريتات وكربونات الباريوم أو السترونسيوم أو الكالسيوم عند اختلاط المياه الموجودة طبيعياً في التوضعات النفطية مع المياه المالحة المحقونة، أو السوائل الأخرى المستخدمة في دراسات البئر، أو من معالجة المياه المرافقة. ويساعد عملية تكون الرواسب الحرشفية في المعدات السطحية عوامل عدة منها:

1. أن يزيد تركيز الأيونات المعدنية في المياه المرافقة على حد ذوبانيتها.
2. توفر جسيمات صغيرة أو سطوح خشنة لتكون مواقع بدء تكون البلورة، وتنشأ هذه المواقع إما من التبلور المستمر للعناصر المترسبة أو من وجود تأكل، أو تتدرج داخل التجهيزات التي تترسب على سطوحها الرواسب.
3. يجب أن تُمتص الأيونات المعدنية كالكالسيوم والباريوم والسترونسيوم في سطوح هذه المواقع وتسهم في تركيب البلورات.
4. يمكن أن يتطور توضع الرواسب الحرشفية إذا سمحت الشروط الهندسية بالتصاق البلورات على سطوح تجهيزات الإنتاج. هذا وتعد العوامل المذكورة آنفاً أساساً يعتمد عليه في الحد من تكون الرواسب أو تخفيض تكونها.

تستخدم طرائق عديدة للتنبؤ بتكون الرواسب الحرشفية (Vetter, 1976; Vetter, 1972; Gallup & Featherstone, 1995; Vetter et al, 1982; El-Hattab, 1985)، وتختلف هذه الطرائق تبعاً لنوع هذه الرواسب (كربونات الباريوم أم كبريتات الكالسيوم،...) وكما ذكرنا آنفاً فإنه توجد أربعة عوامل رئيسية تساهم في تكون الرواسب الحرشفية، يمكن دراستها بدقة مجتمعةً للتنبؤ بتكون الرواسب الحرشفية. وربما يفضل البعض إجراء تحاليل كيميائية بسيطة كتعيين تراكيز الأنيونات (Anions) والكاتيونات (Cations) في المياه المرافقة، فيؤخذ العامل الأول (مثلاً الذوبانية فقط) في الاعتبار مع الشروط الحركية والترموديناميكية السائدة داخل البئر. على أية حال، من الصعب التنبؤ بالكمية الحقيقية لهذه الرواسب، ولكن يمكن فعل ذلك بالتقريب تبعاً لنوع الترسبات. فمثلاً يمكننا القول أن انحلالية كبريتات الباريوم ترتفع بازدياد محتوى الأملاح في المياه المالحة الخارجة إلى السطح. ولكن تدل الدراسات (Vetter, 1976; Vetter et al, 1982; El-Hattab, 1985) أنه لا توجد علاقة خطية بين الذوبانية ودرجة الحرارة، أو الذوبانية والضغط، أو الذوبانية ومحتوى الأملاح. وهذا يعني أنه إذا انخفضت درجة الحرارة أو الضغط أو محتوى الأملاح في المياه المالحة التي تحوي كبريتات الباريوم ($BaSO_4$) فسوف تترسب كميات تزيد أو تنقص من كبريتات الباريوم اعتماداً على مقدار هذا الانخفاض، وعلى الهبوط النهائي في قيم درجة الحرارة والضغط ومحتوى الأملاح. ولكن يبدو من

هذه الدراسات أن تبدلات درجة الحرارة لها الأثر الأكبر في ترسب كبريتات الباريوم في أغلب الآبار، مع أن محتوى الأملاح يبدي تأثيراً كبيراً، ولكنه نادراً ما يؤدي الدور الأساسي.

ويلاحظ مما سبق أن العديد من طرائق التنبؤ ترتبط بتوازن تراكيز الأنيونات والكاتيونات في المياه المرافقة.

تحوي المياه المرافقة لإنتاج النفط والغاز مياه التشكيلات الباطنية الطبيعية المالحة. تجمع هذه المياه عموماً مع المياه التي تحقن إلى التشكيلات الجيولوجية من السطح لزيادة استرداد النفط بعملية تدعى فيضان الماء "Water flooding". تتجاوز كمية هذه المياه في بعض الحالات كمية النفط المنتج (API, 1992; Stephenson, 1992; CAPP, 2001) تعالج عادة المياه المنتجة لإزالة المواد الصلبة وبقايا النفط ومن ثم تعاد إلى التشكيلات لاستخدامها من جديد في عملية فيضان الماء أو تنقى بشكل كاف ليعاد حقنها بهدف التخلص منها. تحتوي المياه المنتجة على هيدروكربونات منحلة مثل المركبات العطرية أحادية الحلقة ونفط مبعثر وعناصر منحلة مثل أيون الكلور وأيون الصوديوم بتراكيز مرتفعة وطيف واسع من المركبات اللاعضوية. بالإضافة إلى ذلك، تحتوي المياه المنتجة على مواد مشعة طبيعية مركزة ناجمة عن سلسلتي اليورانيوم238 والثوريوم232 (API, 1992; Baird *et al.*, 1996; IAEA, 2004; Jonkers *et al.*, 1997; Shawky *et al.*, 2001; NRPA, 2004; Swann *et al.*, 2004)، وتعد هذه المياه أكبر النفايات المشعة المتخلفة عن الصناعة النفطية حجماً (IAEA, 2004). يؤدي الطرح غير المضبوط لهذا النوع من النفايات إلى تلوث بيئي وبالتالي إلى تعرض إشعاعي لعموم الناس (API, 1990; Gray, 1990; Othman & Al-Masri, 2004; IAEA, 2004). لقد طرحت العديد من شركات النفط المياه المنتجة إلى البيئة في بحيرات طبيعية غير مبطنة بهدف تبخيرها، أو في البحر (NRPA, 2004; Vegeria *et al.*, 2002). تعتمد مستويات النشاط الإشعاعي في المياه المنتجة على مصدر الصخور في الأحواض النفطية والمياه المالحة المرافقة (Durrance, 1986; Jonkers *et al.*, 1997; Swann *et al.*, 2004). يتراوح تراكيز نشاط الراديوم226 والراديوم228 في المياه المنتجة بين 0.002-1200 بكرل/ل و0.3-180 بكرل/ل على الترتيب. ولقد ذكر (API, 1992; Baird *et al.*, 1996; Jonkers *et al.*, 1997; NRPA, 2004; Swann *et al.*, 2004) بأن الراديوم أكثر وفرة في المياه المنتجة الأكثر ملوحة والغنية بالكلور. ونظراً لانخفاض كمية المواد المشعة الطبيعية في المياه المرافقة، فيمكن أن تترسب ولو بوجود كميات قليلة من الأنيونات والكاتيونات التي يمكن أن توجد في المياه المرافقة للنفط، وهذا ما تؤكده نتائج تحليل عينات من الرواسب الحرشفية حيث يختلف النشاط النوعي للرواسب الحرشفية (بكرل/غ) وقد يعود ذلك إلى أن معظم النكليدات المشعة الطبيعية تترسب مع الرواسب الحرشفية المتشكلة وإن كانت كمية الترسبات منخفضة لعدم توفر عوامل الترسب الأخرى والتي ذكرت، و بهذا يمكن أن يستدل على تشكل

الترسبات الحرشفية بتعيين توزع النكليدات المشعة في سوائل النفط وإيجاد العلاقات التي تربط بينهـا و بين الرواسب الحرشفية (Al-Masri & Suman, 2003; Jonkers *et al*, 1997; IAEA, 2004).

منذ العام 1996، كانت دراسات المواد المشعة الطبيعية في حقول النفط السورية مقتصرة على مشاريع إزالة التلوث المتعلقة بالمواقع الملوثة في حقول الـنفط (Al-Masri & Suman, 2003; Othman & Al-Masri, 2004). وفي دراسة حديثة العهد، جرى التركيز على توصيف الرواسب الحرشفية الناجمة عن عمليات تنظيف المعدات والأنابيب باستخدام النفث بمياه عالية الـضغط (Al-Masri & Aba, 2005). ولا توجد هناك أية محاولة لتوصيف النشاط الإشعاعي في المياه المنتجة واستخدامها في التنبؤ عـن تـشكل الرواسب الحرشفية، بالإضافة إلى ذلك، يتطلب التعيين الصحيح لعمر الرواسب الحرشفية داخل الأنابيب والمعدات تعيين نسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ الحالية في المياه المنتجة لكل حقل نفط. وعلاوة على ذلـك، لا توجد هناك أية محاولات لاستخدام المواد المشعة الطبيعية وخاصة نسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ في التحري عن طبيعة التوضعات الجيولوجية ومعرفة التفاعلات ما بين آبار النفط المختلفة.

2. هدف البحث

هدف البحث الحالي إلى توصيف المياه المرافقة للنفط في حقول النفط السورية ومحاولة استخدام المواد المشعة الطبيعية في التنبؤ عن تشكل الرواسب الحرشفية وتوضعها في أنابيب ومعدات خطوط إنتـاج النفط و معدلاتها و ربط التغيرات في محتوى المواد المشعة الطبيعية في المياه المرافقـة والرواسـب الحرشفية، بالإضافة إلى الاستفادة من وجود المواد المشعة الطبيعية طبيعياً في المياه المرافقة كمقتفيات أثر في معرفة التفاعلات بين الآبار.

3. المواد والطرائق

1. منطقة الدراسة

أجريت الدراسة في إحدى شركات النفط الرئيسة العاملة في سورية (شركة دير الزور للـنفط). تـدير هذه الشركة ثمانية حقول نفط تقع على قرابة 700 كم شمال شرق مدينة دمشق بالقرب من مدينة ديـر الزور (الشكل 1). ركزت الدراسة على ثلاثة حقول نفط هي حقل الجفرا والقهـار وعطـا الله، أمـا الحقول الخمس الباقية فتعد حقول نفط ثانوية. تخترق معظم هذه الحقول طبقتين رمليتـين معـروفتين بالرطبة والملّوسه المتميزتين بحوض ذي جودة جيدة وإنتاجية مرتفعة، ومعروف أيضاً عـن هـاتين الطبقتين بأنهما ذات طبيعة كربوناتية ممزقة. حفر أكثر من 50 بئر أثناء فترات الاستكشاف والإنتـاج منها 25 بئراً منتجاً، درس فقط أحد عشر بئراً في هذا العمل. بدأت شركة دير الزور للنفط الإنتاج في عام 1991 وازداد الإنتاج بشكل تدريجي ليصل إلى 60,000 برميل يوميا في عام 1995، وبقي هذا

الإنتاج مستقراً حتى نهاية عام 1999 عندما حدث انخفاض ليصل إلى عتبة ثانية قرابة 50,000 برميل باليوم. ومن أجل الحقول الصغيرة والجانبية، طبقت الشركة خبرة الحقن بالنفث في بئرين بسعة 1000 برميل/بئر بالإضافة إلى استخدام تقانة الرفع بالغاز. تحقن المياه المنتجة المعالجة (المأخوذة من نهر الفرات) في حقل القهار والجفرا الرئيسيين من خلال أربعة آبار حقن، (كان يعمل أثناء فترة إجراء الدراسة بئر حقن واحد فقط). يوجه النفط والغاز معاً مع المياه المنتجة إلى محطة معالجة مركزية واحدة في حقل الجفرا للفصل والمعالجة.

2. جمع العينات والتحضير الأولي والتحليل الكيميائي

جمعت عينات المياه المنتجة من رؤوس الآبار لإحدى عشرة بئراً نفطياً من ثلاثة حقول نفط خلال الفترة من 2004/5/15 إلى 2004/9/30. جمعت أيضاً عينات مياه الحقن من بئر واحد من آبار الحقن الرئيسية في حقل الجفرا. أخذت القراءات الإشعاعية في نقاط الاعتيان باستعمال مقياس مسح إشعاعي (Saphymo SPP2 NE) ومقياس معدل جرعة (Eberline ESP1). عرضت القيم الوسطية للمعاملات للآبار قيد الدراسة في الجدول 1. وعرضت المواقع في الشكل 1. أما القيم التفصيلية لكافة القياسات والمعاملات فعرضت في الملحق 1.

قيست درجة الحرارة ودرجة الحموضة مباشرة بعد الاعتيان. جمع حوالي 5 لتر من كل عينة للتحليل المخبري. تتكون العينات من مزيج من النفط والمياه ولهذا ترك المزيج لينفصل ويبرد. أخذ الماء من أسفل وعاء العينة. نقلت العينات إلى المخبر للتحليل الإشعاعي والكيميائي. حددت العوالق الكلية والمواد المنحلة بتقنية الوزن. وعينت الأنيونات والكاتيونات باستخدام الكروماتوغرافيا الأيونية (IC, Dionex 120 DX) ومطيافية الامتصاص الذري (AAS, Perkin-Elmer 2380 Instrument).

3. تعيين نظائر الراديوم

أجري التحليل الإشعاعي من أجل تعيين نظائر الراديوم في المياه المنتجة بالتحليل بمطيافية غاما. حفظ ليتر واحد من كل عينة في وعاء بلاستيكي محكم الإغلاق وخزنت لمدة أربعة أسابيع قبل التعداد، وذلك لتحقيق التوازن الأبدي بين ^{226}Ra و^{228}Ra و^{224}Ra ومنتجات تفككها. قيست كل عينة لمدة 24 ساعة باستخدام كاشف Ge(Li) (كفاءة تعداد 10%) وكاشف HpGe (كفاءة تعداد نسبة 26.5%). عينت النظائر ^{228}Ra, ^{226}Ra, ^{224}Ra بقياس وليداتها مصدرات غاما ^{214}Pb (351.9 keV)، ^{214}Bi (609keV)، ^{212}Pb (230keV)، ^{212}Bi (727.3keV) و^{228}Ac (911.1keV). أنجزت معايرة الكفاءة باستخدام عينات مرجعية (RGU, RGTH, RGK) مزودة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA. بلغ الحد الأدنى للكشف للنكليدات المقاسة مشتقة من قياسات الخلفية الطبيعية بزمن قدره 100,000 ثانية

حوالي 3 بكرل/ل لكل من ^{226}Ra و^{228}Ac، طبقت إجراءات ضبط الجودة باستخدام عينات مراقبة داخلية وعينات مرجعية مزودة من IAEA ومخبر القياسات البيئية EML (وزارة الطاقة، الولايات المتحدة الأمريكية).

4. النتائج والمناقشة

1. الراديوم226 والراديوم224 والراديوم228 ونسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ في المياه المنتجة

بلغت التراكيز الوسطية للراديوم226 والراديوم224 والراديوم228 في المياه المنتجة 51.9 بكرل/ل و37.5 بكرل/ل و1.1 بكرل/ل على الترتيب (الجدول 2)، و بلغت أعلى قيمة للراديوم226 المقدار 111.2 بكرل/ل في البئر Jafra110 (انظر الملحق 1). تقع هذه المستويات ضمن المجال المذكور عالمياً والبالغ 0.1-1200 بكرل/ل (Jonkers *et al*, 1997). كانت القيم المذكورة كافة للراديوم224 قريبة أو من أو دون حد الكشف الأدنى لأنظمة التعداد (1 بكرل/ل). تعزى هذه المستويات المنخفضة إلى أن عينات المياه التي جمعت طازجة حيث تركيز نشاط الثوريوم228 (النكليد الأب للراديوم224) منخفض جداً بالمقارنة مع تركيز نشاط الراديوم226 والراديوم228 (Jonkers *et al*, 1997). بالإضافة إلى ذلك، عولجت المعطيات الإحصائية بطريقة تحليل المعطيات الاستقرائي (مثال عليها التمثيل الصندوقي المستعمل هنا)(الشكلين 2 و3). وظهرت تباينات كبيرة لتراكيز نشاط الراديوم226 والراديوم228 في المياه المنتجة لحقلي الجفرا وعطا الله. يعزى هذا إلى أن عملية حقن المياه المطبقة لم تكن متجانسة أثناء فترة الدراسة مما أدى إلى تغير في عوامل التمديد المرافقة من أجل نظائر الراديوم في المياه المنتجة. ومن الجدير بالذكر أن المياه العذبة من نهر الفرات والمياه المنتجة المعالجة من آبار الإنتاج في حقل الجفرا تمزج معاً وتحقن في واحد من آبار الحقن. من جهة أخرى لوحظت تغيرات صغيرة في تراكيز الراديوم226 بالمقارنة مع تراكيز نشاط الراديوم228 في حقل القهار، على الرغم من أنه لم تمارس أية عملية حقن للمياه في حقل القهار أثناء الدراسة، ربما سبب هذا المنحنى كان تغيرات في نسبة المياه/النفط حيث لوحظ أعلى قيمة لها (70%) في حقل القهار (الجدول 1). الإ أن القيم الوسطية لتركيز نشاط ^{226}Ra كانت في المياه المنتجة التي جمعت من حقل الجفرا وعطا الله قريبة مما يشير إلى أن آبار الإنتاج في كلا الحقلين متصلة مع بعضها البعض إذ تقع الآبار في كلا الحقلين جميعا ضمن دائرة قطرها 3 كم. شوهدت علاقة مشابهة لنسبة نشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ (الشكل 4)، فبلغت القيم الوسطية لنسبة نشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ 0.79 و0.86 و1.91 في حقول الجفرا وعطا الله والقهار على الترتيب. يدعو هذا للقول بأنه لا توجد أية تفاعلات بين آبار إنتاج النفط في حقل الجفرا (وعطا الله) وحقل القهار الذي يقع على مسافة 66 كم من حقل الجفرا.

2. العلاقة بين الراديوم226 والراديوم228

درست العلاقة بين تركيز الراديوم226 وتركيز الراديوم228 في المياه المنتجة التي جمعت من حقل الجفرا وبلغ معامل الارتباط الخطي (R^2) المقدار 0.52 باستخدام المعطيات للمياه المنتجة كافة في حقل الجفرا لرسم ^{226}Ra مع ^{228}Ra ومعطيات حقل عطا الله وحقل القهار لرسم ^{226}Ra مع ^{228}Ra لكل حقل على حدة (الأشكال 5 و6 و7) حيث يلاحظ أن معامل الخطية يختلف من حقل لآخر. يعزى هذا التباين إلى اختلاف الحوض الجيولوجي لكل حقل، فكانت العلاقة أكثر خطية (R^2=0.98) في حقل عطا الله مما يدل أيضاً على تجانس هذا الحوض على عكس ما هو عليه في حقل القهار حيث كانت العلاقة غير خطية (R^2=0.183) وبالتالي فالحوض غير متجانس. على أية حال، انخفض معامل الارتباط إلى R^2=0.33 عندما رسمت المعطيات كافة من الحقول الثلاثة (الشكل 8). بالإضافة إلى ذلك، درست العلاقة التي تربط بين الراديوم226 والراديوم228 باستخدام المعطيات لعينات مياه منتجة جمعت في الوقت ذاته من حقل الجفرا (الشكل 9) حيث لوحظت علاقة أكثر خطية فبلغ معامل الارتباط R^2=0.73 وهذا يدعو أيضاً للاقتراح بأن الآبار المدروسة في حقل الجفرا متصلة بعضها مع بعض وهي تقع ضمن حوض واحد. وعلاوة على ذلك، درس التغير في تراكيز ^{226}Ra و^{228}Ra ونسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ مع الزمن في كل بئر منتج وعرضت النتائج في الأشكال 10 و11 و12 و13 و14 و15. ترتبط تغيرات تراكيز نظائر الراديوم في المياه المنتجة لبئر إنتاج نفط معين بحجم والمياه المحقونة المستخدمة و نوعها في عملية "فيضان الماء". سيؤدي حقن المياه العذبة أو المياه المنتجة المعالجة والتي تحوي على تراكيز منخفضة من نظائر الراديوم إلى تمديد محتوى المياه المنتجة من النشاط الإشعاعي، وهذه كانت الحالة في حقل الجفرا للنفط (الشكل 10)، حيث يحقن أكثر من 1000 برميل من المياه العذبة والمياه المنتجة المعالجة إلى الحوض كعملية فيضان الماء. وجدت تغيرات شهرية أصغر نسبياً لتراكيز الراديوم226 في بئر النفط QHR105 الذي يتميز بنسبة مرتفعة (75%) من المياه/النفط (الشكل 11) ولم تستخدم المياه المحقونة أثناء الدراسة. هذا واختلفت الحالة في حقل عطا الله، حيث انخفض تركيز الراديوم226 لدى انخفاض الإنتاج، على الرغم من تقارب نسبة المياه/النفط أثناء فترة الدراسة. وعلاوة على ذلك، تكون نسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ لبئر إنتاج معين غير متغيرة بشكل كبير مع الزمن إذا استخدمت المياه العذبة في الحقن، ولكن يمكن أن تتغير هذه النسبة عندما تستخدم المياه المنتجة من حوض آخر ذي نسبة نشاط مختلفة، و هكذا كان تغير نسبة نشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ مع الزمن في حقل الجفرا وحقل عطا الله مهملا (الشكل 13 والشكل 15). يعزى هذا إلى استخدام المياه العذبة من نهر الفرات فقط والمياه المنتجة من آبار حقل الجفرا في عملية فيضان الماء أثناء الدراسة، حيث وصلت نسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ للمياه المحقونة في آبار حقل الجفرا المقدار 0.75 وهي قريبة من القيمة الوسطية (0.79) للمياه المنتجة في حقل الجفرا (الجدول 2).

3. تراكيز اليورانيوم والثوريوم في التشكيلات الجيولوجية

يبين الشكل 16 آليات انتقال المواد المشعة الطبيعية من الأحواض النفطية إلى سطح الأرض، حيث يلاحظ أن منشأ الراديوم226 والراديوم228 هو من النظائر المشعة الأم واليورانيوم238 أو الثوريوم232 الموجودة في التوضعات الجيولوجية تحت الأرض، والتي توجد بكميات كبيرة نسبياً في التوضعات الصخرية وخاصة الصخور الطينية الصفحية (الطفلية). ولما كان كل من اليورانيوم والثوريوم جزءاً من هذه التوضعات فهي غير ذوابة في سوائل الحوض (مياه عذبة ومياه مالحة ونفط وغاز). أما الراديوم فيكون ذوابا في الماء وقابلاً للحركة، ومن ثم فإنه ينتقل من هذه التوضعات إلى سطح الأرض مع الماء المرافق للنفط. وتعبر نسبة النشاط الإشعاعي لكل من الراديوم228 والراديوم226 عن نسبة الثوريوم واليورانيوم في الصخور المكونة للتشكيلات الجيولوجية ولهذا فإن التطبيق الآخر لنسبة نشاط نظائر الراديوم هو تعيين نسبة كتلة Th/U للتشكيلات الجيولوجية (Durrance, 1986). حسبت نسبة كتلة الثوريوم/اليورانيوم هنا باستخدام نسبة نشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ (الجدول 2). وجدت قيمتان وسطيتان مختلفتان لنسبة كتلة Th/U لحقول النفط الثلاث وهي 2.4 و2.6 و5.78 لحقل الجفرا وعطا الله والقهار على الترتيب، مما يدعو للاقتراح بوجود نمطين من الصخور بتراكيز مختلفة من اليورانيوم والثوريوم. يمكن اعتبار كل قيمة كبصمة لنسبة Th/U للتشكيلات الجيولوجية لكل حوض. بالإضافة إلى ذلك، يشير التشابه في نسبة كتلة Th/U في حقل الجفرا وحقل عطا الله إلى أن آبار النفط في كلا الحقلين من الحوض ذاته. وعلى الرغم من أن الحقول كافة تقع ضمن 70 كم فإنه يمكن ملاحظة التغيرات ويعود ذلك إلى بنية التشكيلات الجيولوجية التي تتميز بطبقات الكربونات الممزقة. وعلاوة على ذلك، دلت دراسة حديثة (Abboud *et al.* 2005) على وجود عائلتين من النفط تشكلتا من نمطين مختلفين من الصخور بأعمار مختلفة في شمال شرق سورية، اعتمدت دراستهم على المؤشرات البيولوجية وتحليل الكربون النظيري. أشارت المعطيات إلى وجود نمطين من النفط A وB نجمت عن ترسبات بحرية أو تبخرات كربوناتية على الترتيب. ويدعو ذلك إلى اقتراح أن آبار النفط في القهار تقع على حوض مختلف.

4. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية وتشكل الرواسب الحرشفية الحاوية لمواد مشعة طبيعية

يستدل عادة على تشكل الرواسب الحرشفية الحاوية لمواد مشعة طبيعية من قياسات خارجية بواسطة جهاز مسح إشعاعي أو جرعة إشعاعية، حيث تقاس اصدارات غاما الصادرة عن وليدات الراديوم226 (البزموث214 والرصاص214) والراديوم228 (الأكتينيوم228). وتكون عادة العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية وتعداد غاما خطية إذا كان النظير المقاس واحداً في المواقع كافة كما هو الحال في الأشكال 17 و18 و19، زد على ذلك أن العلاقة لم تكن خطية واضحة بين معدل الجرعة الإشعاعية

ونسبة المياه/النفط حيث من المتوقع أن ترتفع كمية الرواسب الحرشفية المتشكلة بارتفاع كمية الميـاه المرافقة للنفط. ويلاحظ من الأشكال 20 و21 و22 تباين هذه العلاقة، حيث كانت خطية عكسية فـي حالة حقل القهار (الشكل 22). ويعود هذا التباين إلى ارتباط تشكل الرواسب الحرشفية بعوامل كثيـرة أخرى. بالإضافة إلى ذلك، لم تكن أيضاً العلاقة واضحة بين تغير تركيز الراديـوم226 فـي الميـاه المرافقة ومعدل الجرعة الإشعاعية للآبار المختلفة في الحقول الثلاثة المدروسـة (الأشـكال 23 و24 و25)، مما يجعل من الصعب التنبؤ بتشكل الرواسب الحرشفية باستخدام المعاملات التي تعتمد علـى القياسات الإشعاعية.

5. ارتباط الراديوم بالخصائص الكيميائية والفيزيائية للمياه المنتجة

ذكـرت معظـم الدراسـات (API, 1992; Baird *et al.*, 1996; IAEA, 2004; Jonkers *et al.*, 1997; NRPA, 2004; Swann *et al.*, 2004) أن وفرة الراديوم أعلى في المياه المنتجة الأكثر ملوحة والغنيـة بالكلور. وفي الدراسة الحالية، درسنا الخصائص الفيزيائية والكيميائية الأخرى لكافـة عينـات الميـاه المنتجة التي جمعت (الجدول 3)، عينت العلاقة بين هذه الخصائص ومحتوى الراديـوم226 بطريقـة الالباسات المتعـددة باسـتخدام برنـامج Microcal Origin Version 5.0 (Microcal Software Inc., USA). عرضت معاملات الارتباط للمعاملات المختلفة في الجدول 4 الذي لم يبد أية علاقات خطيـة واضحة للراديوم226 بالمعاملات المدروسة يمكن تعميمها على الحقول جميعا. إذ كانت العلاقة غيـر خطية في حقل الجفرا (الأشكال من 26 إلى 34) بينما كانت أكثر خطية في حقل عطا الله (الأشـكال من 35 إلى 43) وحقل القهار (الأشكال من 44-52). وبمقارنة هذه العلاقات بين الحقول، يمكـن أن نستنتج أن آبار حقل القهار لا صلة لها بآبار حقلي الجفرا وعطا الله. ومن المتوقع أن يكـون تركيـز نشاط الراديوم226 مرتبط بالباريوم ولكن كانت تراكيز الباريوم في عينات المياه التي جمعت دون حد الكشف لـAAS (0.45 جزء في المليون) وتعزى هذه المستويات المنخفضة إلى أن أغلـب البـاريوم يترسب ترسيباً مشتركاً على هيئة رواسب حرشفية في أنابيب فتحة البئر. شوهدت علاقة قويـة بـين الباريوم ونظائر الراديوم في المياه المرافقة في دراسة أخرى (Vegeria *et al.*, 2002). بالإضـافة إلـى ذلك، يرتبط الراديوم أيضاً بشكل قوي بتركيز الباريوم في الرواسب الحرشفية التي تترسب في الـسطوح الداخلية للأنابيب (Al-Masri & Aba, 2005).

6. تعيينات عمر الرواسب الحرشفية

استخدمت نظائر الراديوم لتأريخ الباريت المشع في المواقع الملوثة في حقول إنتاج النفط (Zielinski *et al*, 2001). يمكن تقدير وسطي عمر معدات حقول النفط (<40 سنة) بمقارنة نسبة نشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ الحالية مع نسبة النشاط الأولية $(^{228}Ra/^{226}Ra)_0$ شريطة أن تقدر نسبة النشاط الأولية هذه بقياس نظـائر

الراديوم في مياه منتجة جديدة. في دراستنا السابقة (Al-Masri & Aba, 2005) ذكرنا من أجل رواسب حرشفية حديثة التشكل نسبياً لا يزيد عمرها على 10 سنوات أنه يمكن استخدام نسبة النشاط $^{224}Ra/^{228}Ra$ المقاسة لتقدير العمر الوسطي للرواسب الحرشفية في معدات حقول النفط، و ذلك بتطبيق نسبة تفكك ^{224}Ra و^{228}Ra و نمها حيث يعود النشاط الإشعاعي الحالي للراديوم224 في الرواسب الحرشفية لتفكك ^{228}Ra فقط وبعمر نصف يساوي 5.75 سنة مرورا ب ^{228}Th (عمر نصفه 1.9 سنة)، لا يوجد الثوريوم228 في الرواسب الحرشفية الحديثة التشكل. عرض تفكك الراديوم228 والراديوم224 ونموهما في الشكل 53. آخذين في الاعتبار الافتراضات المذكورة أعلاه، يمكن تقدير عمر الرواسب الحرشفية الوسطي في معدات حقول النفط بالعلاقة:

$$T\ (years) = -\ln [\ 1- (^{224}Ra/^{228}Ra)/1.49]\ 4.098$$

اشتق المعاملان 1.49 و4.098 من تلبيق معطيات نسبة نشاط الراديوم224 والراديوم228 (الشكل 53). أما في الدراسة الحالية، فلقد استخدمت الطريقتان في تعيين عمر ثلاث عينات رواسب حرشفية جمعت من مخزن المواد المشعة الطبيعية في حقل الجفرا وقدرت نسبة النشاط الأولية لـ $(^{228}Ra/^{226}Ra)_0$ من المياه المنتجة الحديثة؛ (الجدول 5). وعلى الرغم من أن عدد عينات الرواسب الحرشفية صغير نسبياً، كانت الأعمار المحسوبة باستخدام نسبة النشاط الأولية $(^{228}Ra/^{226}Ra)_0$ أعلى نسبياً من تلك المعينة باستخدام $^{224}Ra/^{228}Ra$. قورنت أيضاً الأعمار المحسوبة مع معطيات صيانة المعدات ذات الصلة. كانت أعمار جميع الرواسب الحرشفية المتوضعة داخل المعدات لا تتجاوز 9 سنوات، حيث بدأ الإنتاج في أول بئر إنتاج في حقل الجفرا في العام 1991 (الجدول 1).

7. الاستنتاجات والتوصيات

جرى توصيف المياه المنتجة خلال إنتاج النفط في الحقول السورية من الناحية الإشعاعية والكيميائية وعلى مدار ستة أشهر. وجدت مستويات مرتفعة نسبياً من الراديوم226 في معظم عينات المياه بالمقارنة مع المستويات المذكورة عالمياً. يمكن أن تكون التغيرات في تراكيز الراديوم226 والراديوم228 ونسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ مع الزمن وسيلة مفيدة لدراسة التفاعلات بين الآبار وعمليات فيضان الماء. يمكن اعتبار نسبة النشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ كبصمة لنسبة كتلة Th/U في التشكيلات الجيولوجية للحوض.

أعطت طريقة تأريخ الرواسب التي تعتمد على نسبة نشاط $^{228}Ra/^{226}Ra$ الأولية في المياه المنتجة نتائج قابلة للمقارنة مع الطريقة التي تعتمد نسبة نشاط $^{224}Ra/^{228}Ra$ في الرواسب الحرشفية. ومن جهة

أخرى، لا توجد أية علاقة خطية واضحة بين تراكيز نظائر الراديوم في الميـاه المنتجـة والتركيـب الكيميائي والخصائص الفيزيائية المدروسة للمياه المنتجة والخصائص المتعلقة بآبار النفط المنتجة فـي الحقول المدروسة، يمكن استخدام هذا التباين بين الحقول لمعرفة ارتباط الآبار المنتجة بعضها ببعض.

وأخيراً، نوصي بتعميم نتائج هذه الدراسة على شركات النفط للاسـتفادة مـن نتائجهـا فـي معرفـة التفاعلات بين الآبار المختلفة والتوضعات الجيولوجية وذلك لـسهولة الطريقـة المقترحـة وكلفتهـا المنخفضة بالمقارنة مع الطرائق التي تستخدم النظائر المشعة كـالتريتيوم والكربـون14 والمركبـات الموسومة بها كمقتنفيات أثر في مثل هذه الدراسات.

8. كلمة شكر

يود الباحث أن يشكر الدكتور إبراهيم عثمان (المدير العام لهيئة الطاقة السورية) لدعمه وتشجيعه، بالإضافة إلى ذلك، يقدر الباحث إدارة شركة دير الزور للنفط والكادر الفني في الحقل دعمهم للعمل الحالي. ويشكر أيضاً السادة حسام خليلي وإبراهيم عواد وسامر أبو بكر من دائرة حماية البيئة والسيد عمر الشياح من قسم الكيمياء لمساهمتهم الفعالة في جمع العينات وتحليلها والسيد زهير شعيب لطباعته هذا التقرير.

9. المراجع

Abboud, M., Philp, R. P., Allen, J. 2005. Geochemical correlation of oils and source rocks from central and NE Syria. Journal of Petroleum Geology, 28, 3,

Aberg, G., Lofvendahl, A., Nord, A.G., HoIm, E., 1985. Radionuclide Mobility in Thucholitic Hydrocarbons in Fractured Quartzite. Can. J. Earth Sc 22, 959-967.

Al-Masri, M. S., Aba, A. 2005. Distribution of scales containing NORM in different oilfields equipment. *Journal of Applied Radiation and Isotopes* 64/4, 457-463.

Al-Masri, M. S., Suman, H., 2003. NORM waste in the oil and gas industry: the Syrian experience, J. Radioanal. Nucl. Chem. 256, 159-162.

American Petroleum Institute (API), 1992. Bulletin on Management of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Oil and Gas Production, API Bulletin E2 (BULE2), First Edition.

American Petroleum Institute (API), Management and Disposal Alternatives for Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) Wastes in Oil Production and Gas Plant Equipment, (as prepared in 1990 by Rogers & Associates Engineering Corp., for the API NORM Issue Group), API publication 7103, 1997.

American Petroleum Institute 1992. Bulletin on Management of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Oil and Gas Production, API Bulletin E2 (BULE2), First Edition.

Baird R. D., Merrell, G. B., Klein, R. B., Rogers, V. C., Nielson, K. K., 1996. Management and disposal alternation for norm wastes in oil production and gas plant equipment, American Petroleum Institute, 1-1-5-18.

CAPP. 2001. Offshore produced water waste management. Canadian Association of Petroleum Procedures. Technical Report 2001-0030.

Durrance, E. M., 1986. Radioactivity in Geology; Principles and Applications, Ellis Norwood Science Limited, New York.

E & P Forum 1988. Low Specific Activity Scale, Origin, Treatment and Disposal, Report No. 6.6/127, London.

El Hattab M. I., 1985. Scale Deposition in Surface and Subsurface Production Equipment in the Gulf of Suez. Journal of Petroleum Technology, 9. 1640 - 1652.

Fleischer, R. L. 1982. Alpha-Recoil Damage and Solution Effects in Minerals: Uranium Isotopic Disequilibrium and Radon Release. Geochim. Cosmochim. Acta 46, 2191-2201.

Gallup, D. L., Featherstone, J. L. 1995. Control of NORM Deposition from Salton Sea Geothermal Brines. Geotherm. Sci. Tech. 4, 21 5-226.

Gray, P., 1990. Radioactive materials could pose problems for the gas industry. Oil and Gas Journal, June 1990, 45-48.

Heaton, B., Lambley, J. 1995. TENORM in the Oil, Gas and Mineral Industry. AppI. Rad. Isot. 46, 577-581.

International Atomic Energy Agency, 2004. Radiation and waste safety in the oil and gas industry, IAEA-Safety Report No. 34.

Jonkers G., Hartog, F. A., Knaepen, W. A. I., Lancee, P. F. J. Characterization of NORM in the oil and gas production (E&P) industry. Proc of Int. Symposium on Radiological Problems with Natural Radioactivity in the Non-Nuclear Industry. Amsterdam, September 8-10, 1997, 23-47.

NRPA. 2004. Natural radioactivity in produced water from the Norwegian oil and gas industry in 2003. Report 005:2, Norwegian Radiation Protection Authority.

Othman, I., Al-Masri, M. S. 2004. Disposal strategy for NORM waste generated by the Syrian oil industry. A paper presented at the international symposium on the disposal of low activity waste. 13-17 December 2004, Cordoba, Spain.

Shawky, S., Amer, H., Nada, A. A., Abd El-Maksoud, T. R., Ibrahim, N. M., 2001. Characteristics of NORM in the oil industry from eastern and western desert of Egypt, Applied Radiation and isotopes, 55, 133-135.

Smith, A. L. 1987. Radioactive-Scale Formation. J. Petr. Tech. 39, 697-706.

Stephenson, M. T. 1992. Components of produced water: a compilation of industry study. Journal of Petroleum Technology 548-603.

Stipp, S. L. S., Konnerup-Madsen, J., Franzreb, K., Kulik, A., Mathieu, H. J. 1999. Spontaneous Movement of Ions Through Calcite at Standard Temperature and Pressure. Nature 396, 356-359.

Strand, T., Lysebo, I., NORM in Oil and Gas Production Waste Management and Disposal Alternatives. 1998, In Proceedings of the Second International Symposium on the Treatment of Naturally Occurring Radioactive Materials, Krefeld, Germany , Nov 10 – 13, 1998.

Sun, H., Semkow, T. M. 1998. Mobilization of Thorium, Radium and Radon Radionuclides in Ground Water by Successive Alpha-Recoils. J. Hydr. 205, 126-136.

Swann, C., Matthews, J., Ericksen, R., Kuszmaul, J. 2004. Evaluation of radionuclides of uranium, thorium and radium associated with produced fluids, precipitates and sludges from oil, gas and oilfields brine injections wells in Mississippi. US Department of Energy. DE-FG26-02NT 15227.

Vegeria, S. F. J., Godoy, J. M., Mikeley, N. 2002. Environmental impact studies of barium and radium discharges by produced waters from the Bacia de Campos oil field offshore platforms, Brazil. Journal of Environmental Radioactivity, 62, 1, 29-38.

Vetter O. J., Kandrpa, V., Harouaka, A., 1982. Predication of scale problems due to injection of incompatible waters, J. Petroleum Technology, Feb., 273-284.

Vetter, O. J. 1972. An Evaluation of Scale Inhibitors. Journal of Petroleum Technology, 992.

Vetter, O. J. 1976. Oil field Scale-Can We Handle It. Journal of Petroleum Technology. 1402-1408.

Vetter, O. J., Kandrpa, V., Harouaka, A. 1982, Predication of Scale Problems due to Injection of Incompatible Waters, J. Petroleum Technology, 273-284.

Zielinski, R. A., Otton, J. K., Budahn, J. R. 2001. Use of radium isotopes to determine the age and origin of radioactive barite at oilfield production sites. Environmental Pollution, 113, 299-309.

الجدول 1.

القيم الوسطية والانحراف المعياري للمعاملات المختلفة والمقدرة للآبار النفط المدروسة

اسم الحقل	رمز البئر	البعد عن حقل الجفرا CPF (كم)	تاريخ بدء الإنتاج	كمية الإنتاج (برميل/اليوم)	نسبة (مياه/نفط) (%)	معدل الجرعة (ميكروسيفرت/الساعة)*	تعداد غاما (عدة بالثانية)
Qahar	QHR106 (6)	65	1996	742±291	33±5	10.7±0.3	4783±312
	QHR105 (6)	66	1996	1517±801	75±2	0.5±0.1	218±18
Attala	AT206 (6)	9	2003	1600±245	27±3	0.4±0.1	175±48
Al-Jafra	JAF111 (6)	5	2003	3141±730	13±2	0.07±0.01	42±4
	JAF110 (5)	5	2000	6750±712	11±2	0.6±0.1	300±32
	JAF109 (6)	4	1998	4842±1057	31±9	17±2	7083±861
	JAF105 (6)	4	1994	2917±435	32±7	1.3±0.4	583±98
	JAF104 (6)	2	1994	3417±483	18±6	0.07±0.01	43±5
	JAF102 (6)	3	1992	3100±586	36±3	4.2±0.3	2017±133
	JAF101 (5)	3	1991	4042±931	29±6	1.5±0.7	567±209
	JAF503 بئر حقن	3.5	-	-	-	0.08±0.01	42±7.5

(n) عدد القياسات

*: قياس على تماس

الجدول 2.

مجال مستويات النشاط الإشعاعي في المياه المنتجة من ثلاثة حقول نفط ونسبة كتلة Th/U للتشكيلات الجيولوجية للحوض

الحقل	الراديوم226 بكرل/لتر (القيمة الوسطية + 1σ)	الراديوم228 بكرل/لتر (القيمة الوسطية + 1σ)	الراديوم224 بكرل/لتر (القيمة الوسطية + 1σ)	$(^{228}Ra/^{226}Ra)_0$	Th/U
الجفرا (40)	13.8-111.2 (51.9±23.4)	12.4-67.4 (37.5±12.6)	0.2-3.7 (1.1±0.7)	0.79±0.21	2.4
عطا الله (6)	9.9-58 (41.0±15.1)	8.8-50.5 (35.0±13.0)	0.6-1.5 (0.93±0.3)	0.86±0.04	2.6
القهار (12)	13.9-20.9 (18.7±2.2)	20.7-57.5 (26.1±14.0)	0.4-2.3 (1±0.7)	1.91±0.67	5.78

(n) عدد العينات

الجدول 3.

مجالات تراكيز وقياسات بعض التحاليل الفيزيائية والكيميائية للمياه المنتجة من آبار النفط المدروسة

اسم الحقل	رمز البئر	تاريخ بد الإنتاج	T °C	pH	TDS	TSS	Ca^{+2}	SO_4^{-2}	Sr^{+2}	Ba^{+2}	Mg^{+2}
					gl^{-1}		mgl^{-1}				
القهار	QHR106	1996	58-77	3.98-7.15	52.82-59.29	0.24-0.48	280-3400	202-240	200-300	< 0.45	370-440
	QHR105	1996	15-85	5.45-6.76	51.29-970	0.26-0.44	2800-3500	107-147	200-280	< 0.45	400-480
عطا الله	AT206	2003	70-78	2.61-4.98	271-306	0.72-2.12	1850-32000	101-404	400-500	< 0.45	2480-2900
الجفرا	JAF111	2003	68-74	5.27-5.62	161-248	0.61-1.51	3200-14000	233-431	240-680	< 0.45	440-2150
	JAF110	2000	75-86	4.91-6.07	148-179	0.49-1.31	7500-16000	215-676	500-620	< 0.45	1000-1200
	JAF109	1998	78-92	4.92-5.47	116-175	0.48-2.24	6400-10400	174-246	440-660	< 0.45	1000-2480
	JAF105	1994	75-78	4.42-6.69	117-136	0.65-1.24	3000-7400	146-200	360-460	< 0.45	840-1070
	JAF104	1994	73-81	5.15-5.79	54-136	0.21-1.56	5600-8400	172-200	340-640	< 0.45	840-1280
	JAF102	1992	80-84	4.09-5.41	131-175	0.54-1.64	4800-9600	204-300	360-720	< 0.45	720-1330
	JAF101	1991	62-70	2.6-5.71	92-182	0.82-2.21	4800-13200	170-366	360-560-	< 0.45	720-1420
	JAF503		45-73	5.72-6.43	40-115	0.17-0.78	200-5600	114-207	140-320	< 0.45	400-900

TDS: المواد الصلبة المنحلة

TSS: المواد الصلبة العالقة الكلية

الجدول 4.

معاملات الارتباط الخطية باستخدام تحليل الالباس المتعدد من أجل معاملات مختلفة للمياه المنتجة من حقل الجفرا

Ca^{+2} mgl^{-1}	Mg^{+2} mgl^{-1}	Sr^{+2} mgl^{-1}	SO_4^{-2} mgl^{-1}	TSS gl^{-1}	TDS gl^{-1}	pH	T °C	نسبة $\frac{\text{المياه}}{\text{النفط}}$ (%)	معدل الإنتاج (bpd)	تعداد غاما (cps)	معدل الجرعة ($\mu Sv\ h^{-1}$)	المعامل
0.0346	0.0196	0.0023	0.0196	0.0022	0.0235	0.0196	0.0327	0.0836	0.0992	0.0114	0.0123	^{224}Ra
0.0715	0.0783	0.132	0.0783	0.0013	0.1324	0.0783	0.0004	0.01119	0.0183	0.0706	0.0747	^{226}Ra
0.016	0.167	0.044	0.167	0.0284	0.0179	0.1672	0.0014	0.1509	0.0123	0.0173	0.0167	^{228}Ra
0.0817	0.0089	0.1085	0.0089	0.0128	0.2193	0.0089	0.0013	0.0069	0.0216	0.1052	0.1119	$^{228}Ra/^{226}Ra$

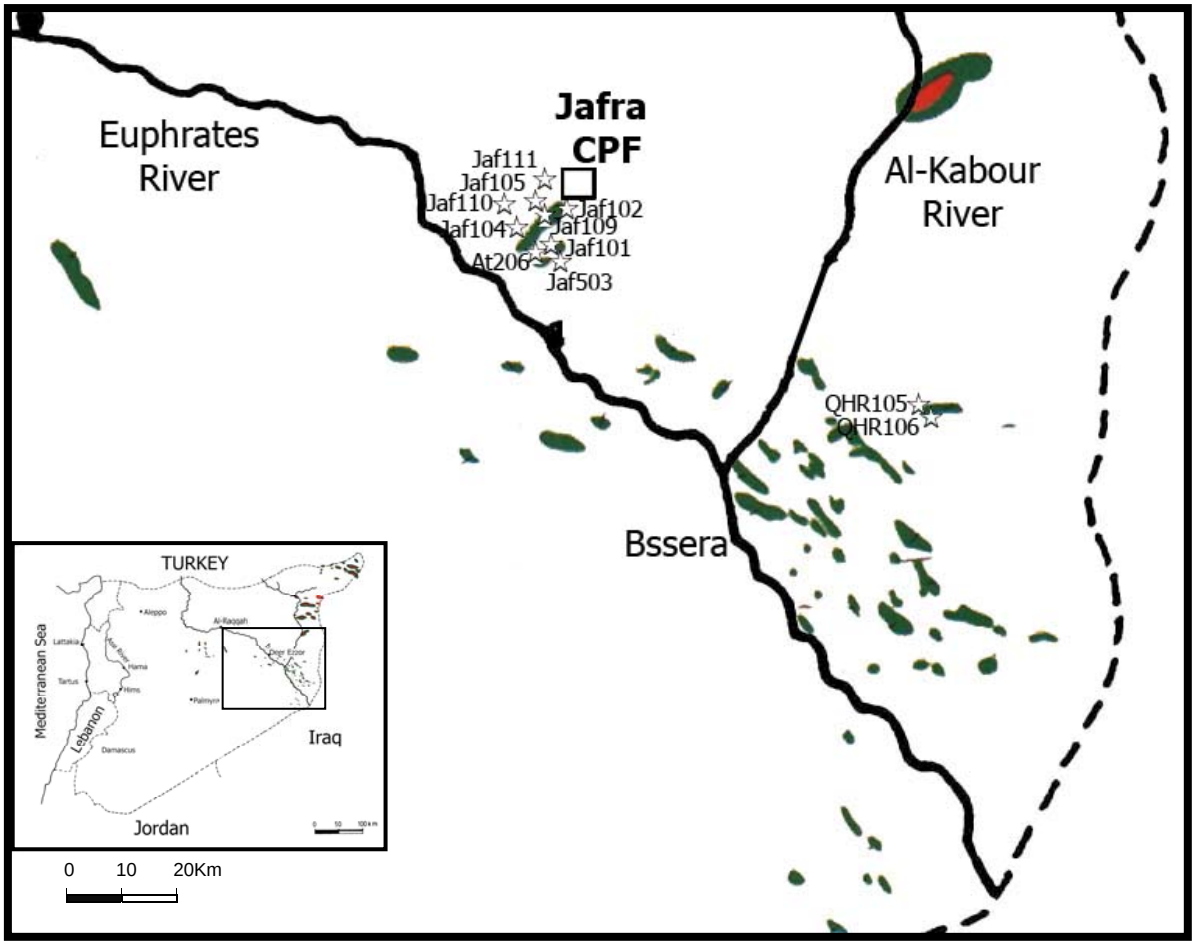
الجدول 5.

النشاط الإشعاعي لعينات الرواسب الحرشفية جمعت من حقل الجفرا

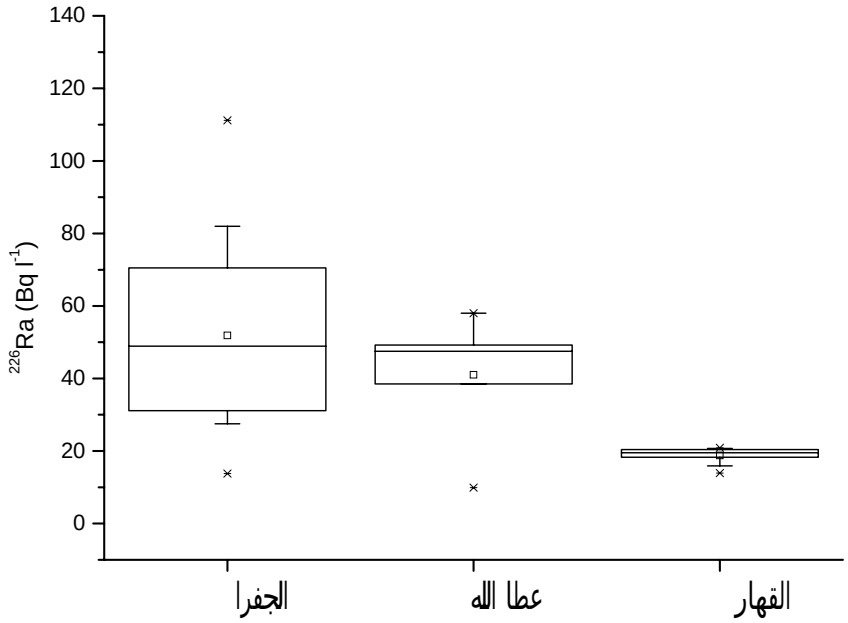
Average scale age^{+} (y)	(^{224}Ra/^{228}Ra) (±1SD)	Average scale age* (y)	(^{228}Ra/^{226}Ra) (±1SD)	^{224}Ra Bq.g^{-1} (±1SD)	^{228}Ra Bq.g^{-1} (±1SD)	^{226}Ra Bq.g^{-1} (±1SD)	
6.12	1.15±0.21	5.7	0.40±0.09	96.1±7.2	83.3±8.7	215±23.6	Oil Tank scale
5.16	1.08±0.19	9.6	0.25±0.05	37.7±2.9	35.0±3.4	138.6±14.3	Tubular (near the well head)
3.54	0.83±0.15	5.7	0.40±0.11	1.9±0.1	2.3±0.3	5.9±0.8	Tubular (Production water)

*. بالاعتماد على القيمة الوسطية للنسبة المئوية الحالية للـ (^{228}Ra/^{226}Ra) في الرواسب الحرشفية وللنسبة (^{228}Ra/^{226}Ra)$_0$في المياه المنتجة.

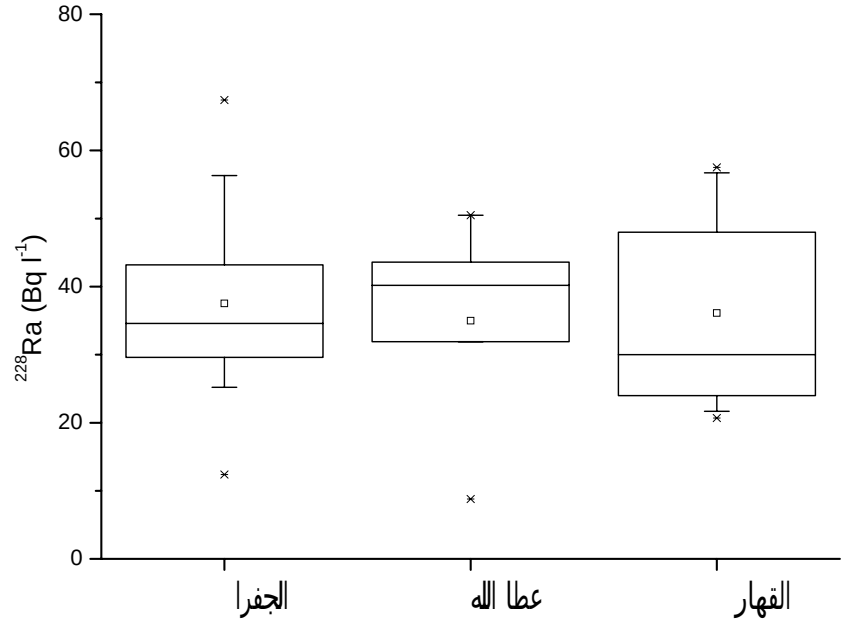
$^{+}$. بالاعتماد على القيمة الوسطية الحالية للـ (^{228}Ra/^{224}Ra)في الرواسب الحرشفية



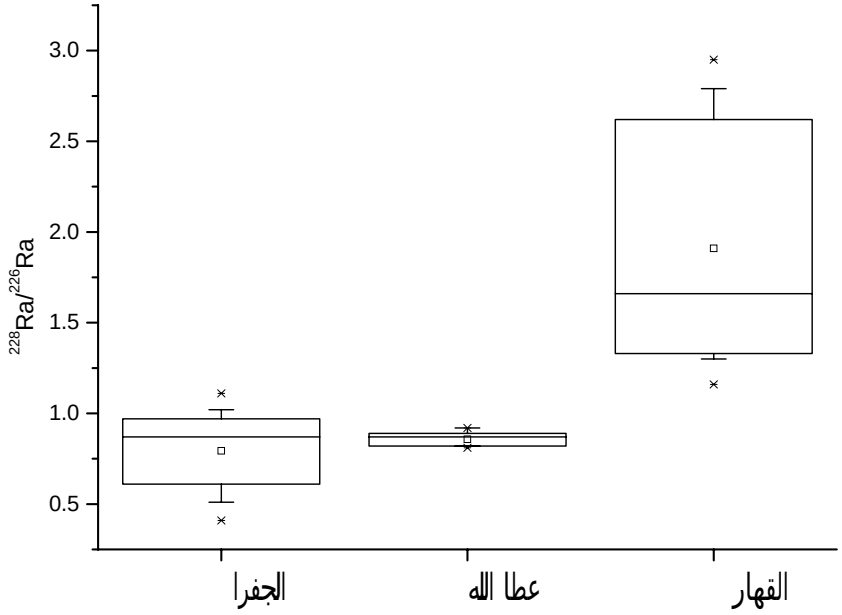
الشكل 1. خارطة مواقع حقول النفط



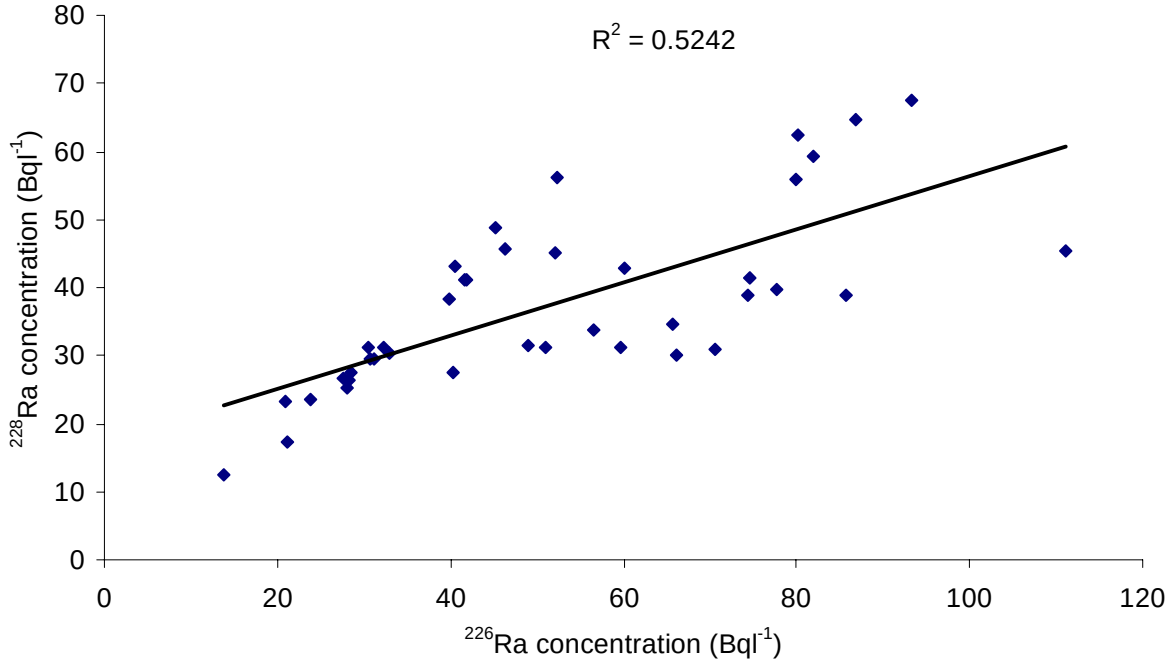
الشكل 2. مخطط صندوقي لتركيز الراديوم226 في المياه المرافقة من ثلاثة حقول نفط ويظهر الخط وسط الصندوق القيمة الوسطية والقيم المتواجدة بـين 25 و75 %. وتـدل الخطـوط الأفقية القصيرة على 10 و90 % المتواجدة ولكن تشير النجوم إلى القيم العظمى والدنيا



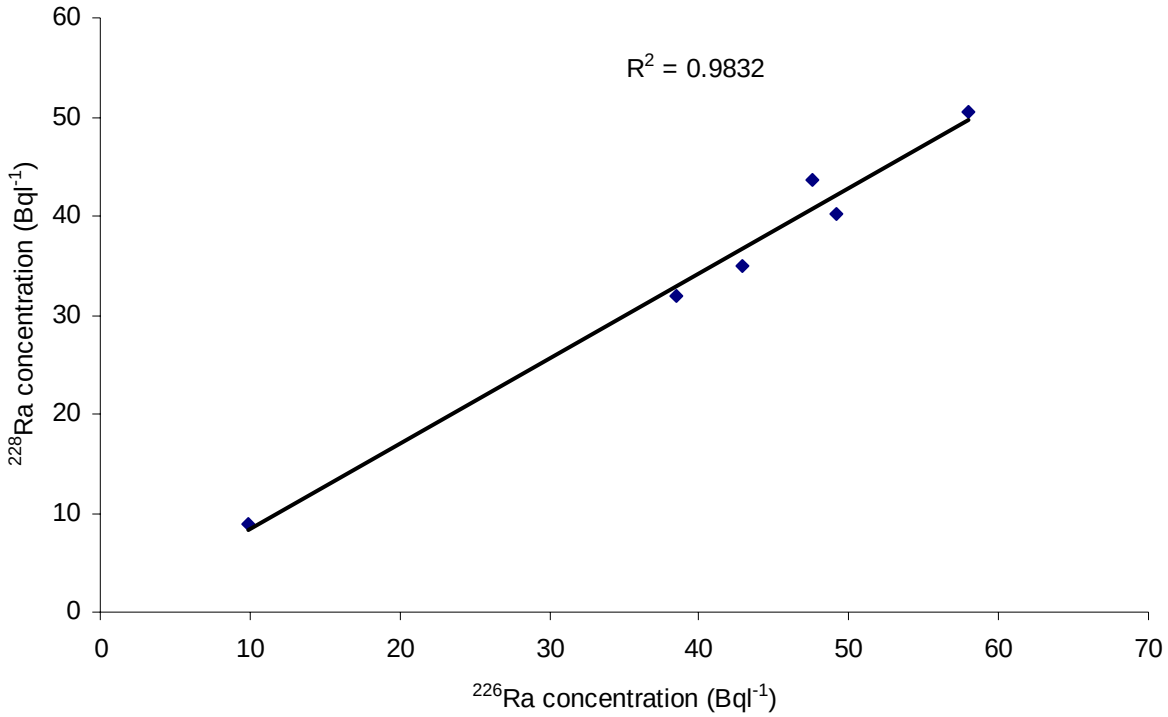
الشكل 3. مخطط صندوقي لتركيز الراديوم228 في المياه المرافقة من ثلاثة حقول نفط



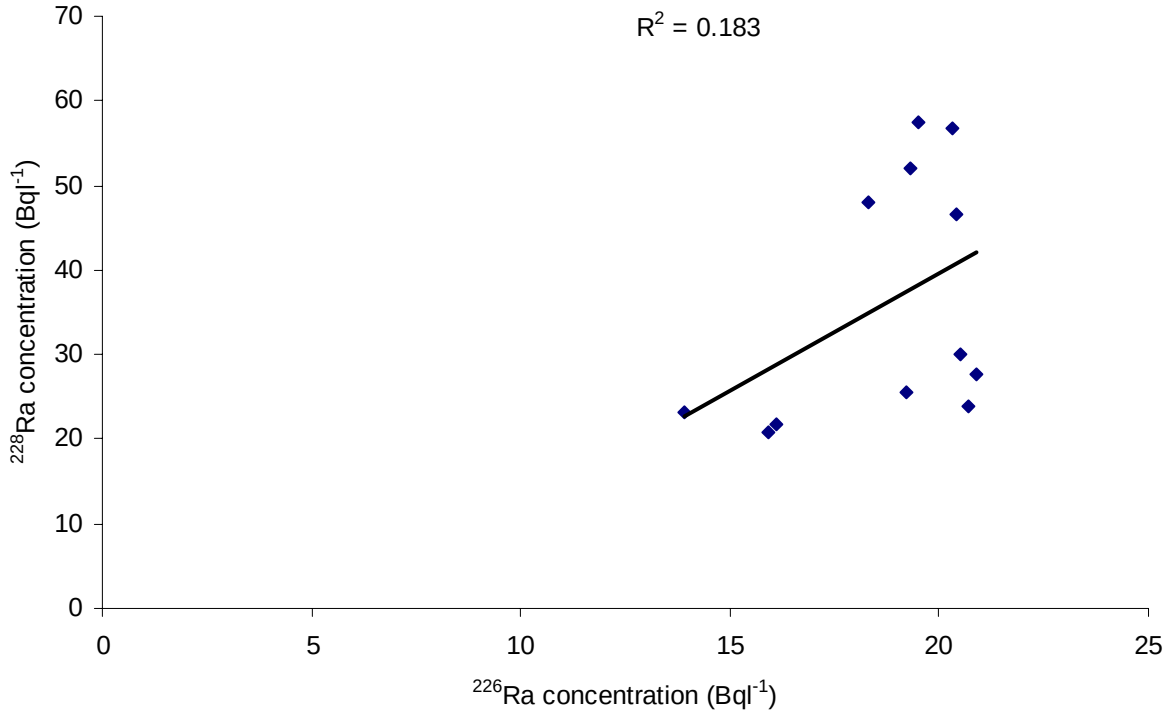
الشكل 4. مخطط صندوقي لنسبة تركيز $^{228}Ra/^{226}Ra$ في المياه المرافقة من ثلاثة حقول نفط



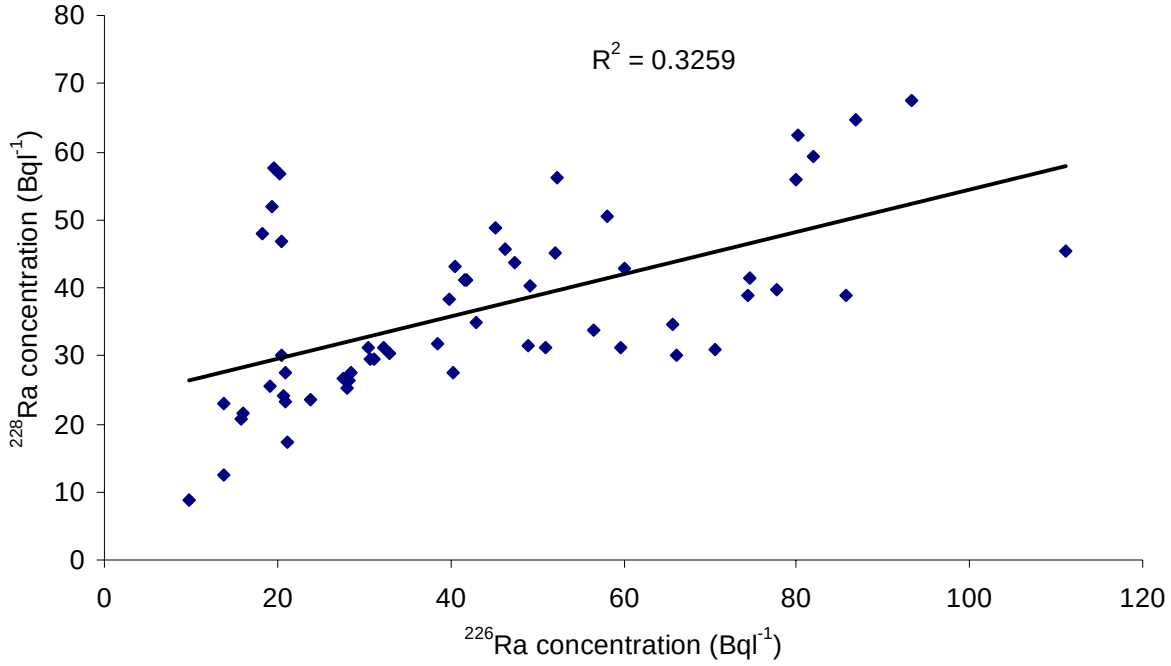
الشكل 5. العلاقة بين الراديوم226 والراديوم228 في المياه المنتجة من أجل آبار الإنتاج في حقل الجفرا



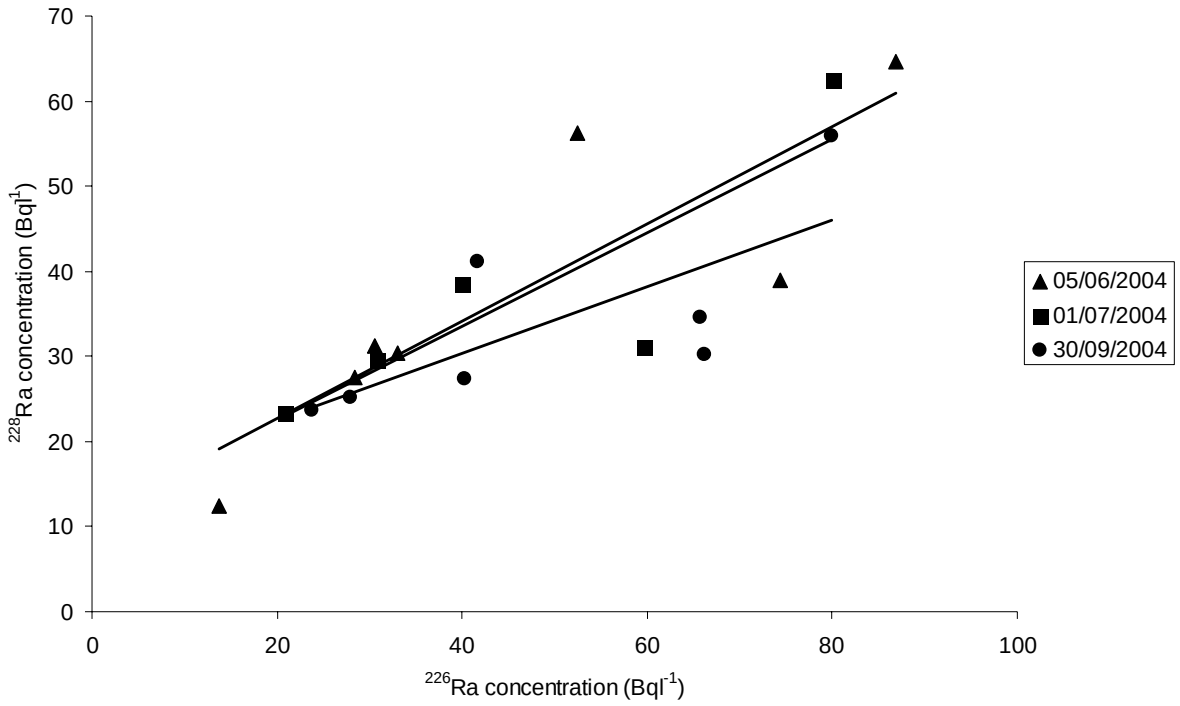
الشكل 6. العلاقة بين الراديوم226 والراديوم228 في المياه المنتجة من أجل آبار الإنتاج في حقل عطا الله



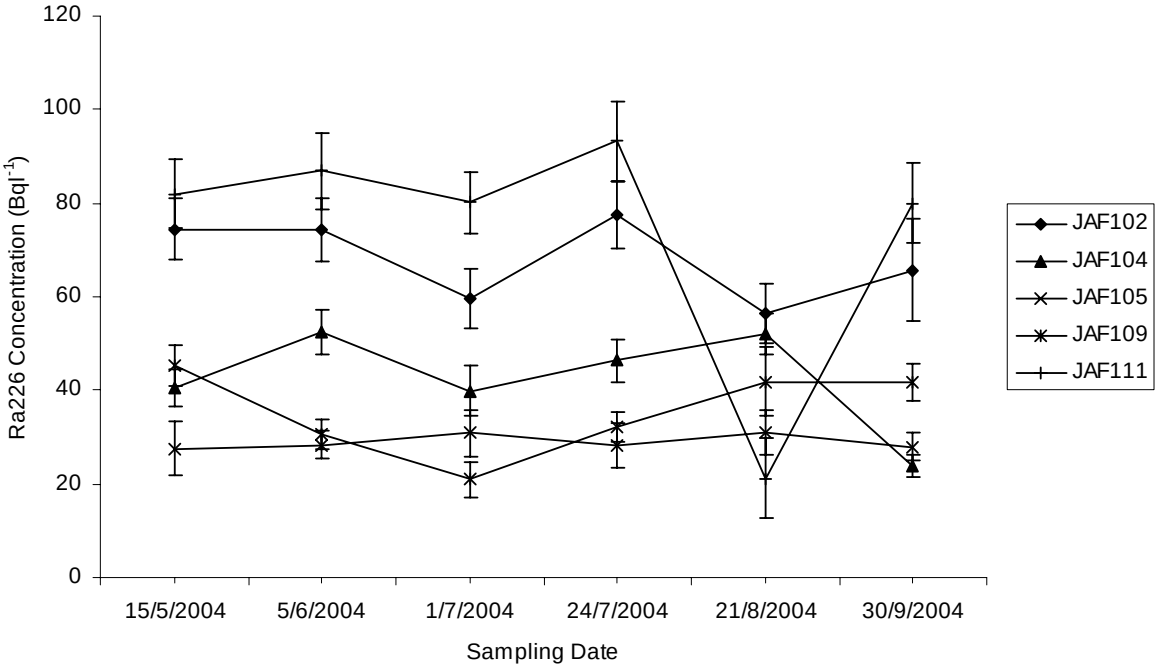
الشكل 7. العلاقة بين الراديوم226 والراديوم228 في المياه المنتجة من أجل آبار الإنتاج في حقل الفهار



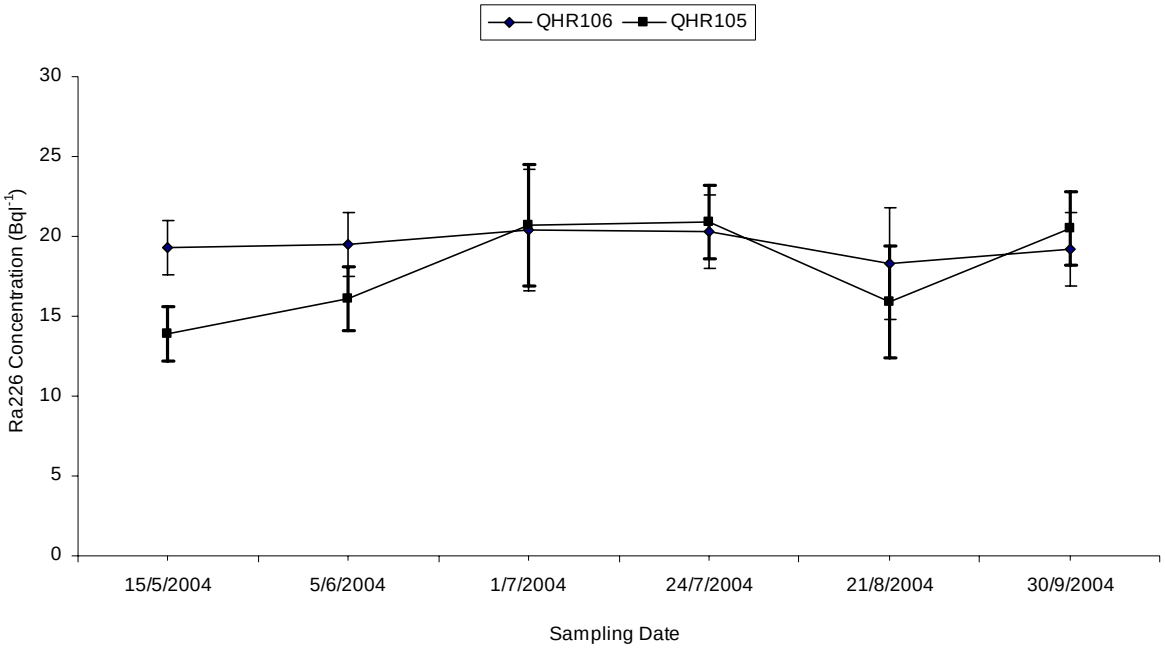
الشكل 8. العلاقة بين الراديوم226 والراديوم228 في كمية الإنتاج في ثلاثة حقول النفط المدروسة



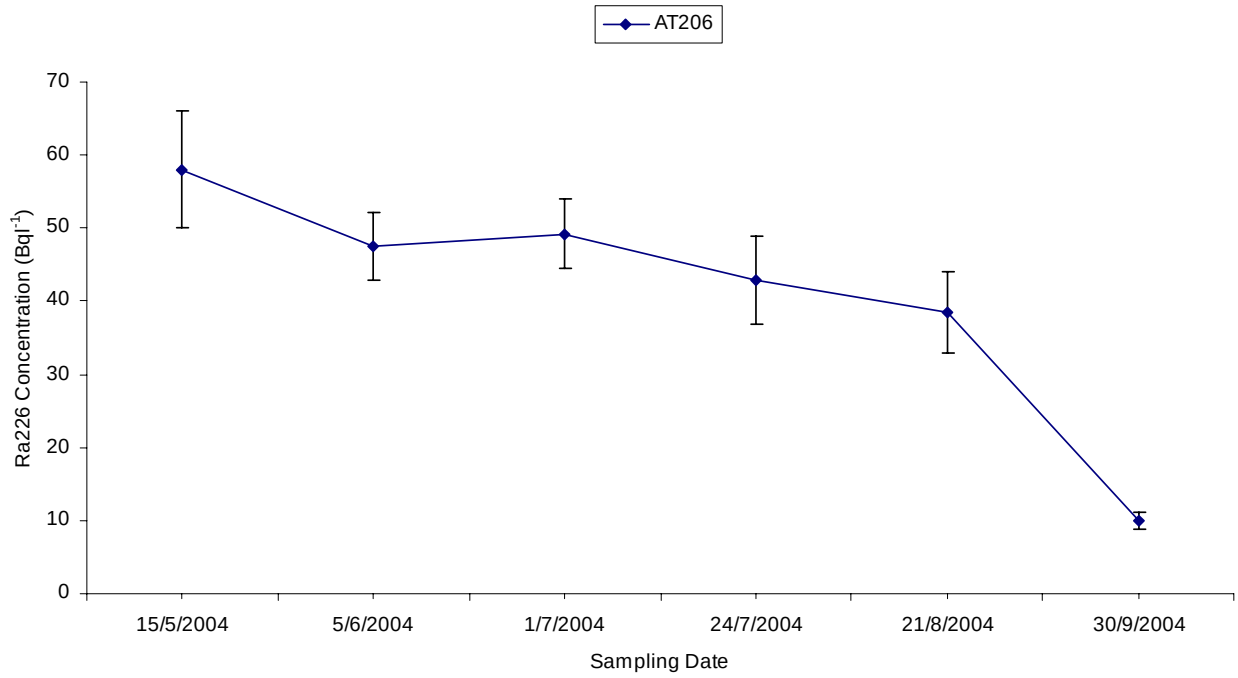
الشكل 9. العلاقة بين الراديوم226 والراديوم228 من أجل آبار إنتاج في حقل الجفرا حسب زمن الاعتيان [05/06/2004, R^2=0.7313, 01/07/2004, R^2=0.7317, 30/09/2004, R^2=0.5442]



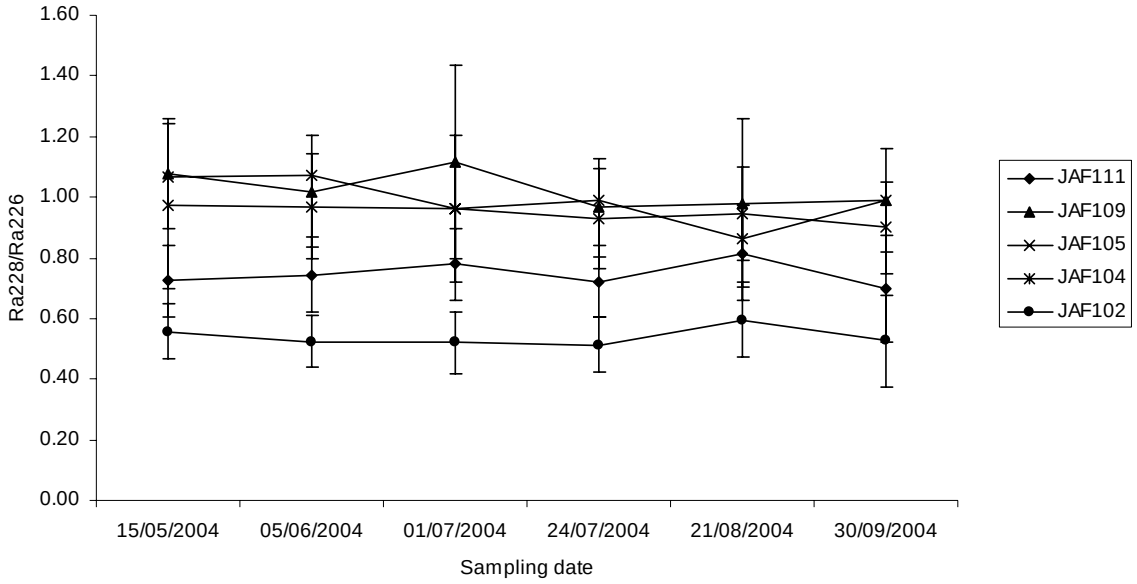
الشكل 10. التغيرات الشهرية لتركيز نشاط الراديوم226 في المياه المنتجة (حقل الجفرا)



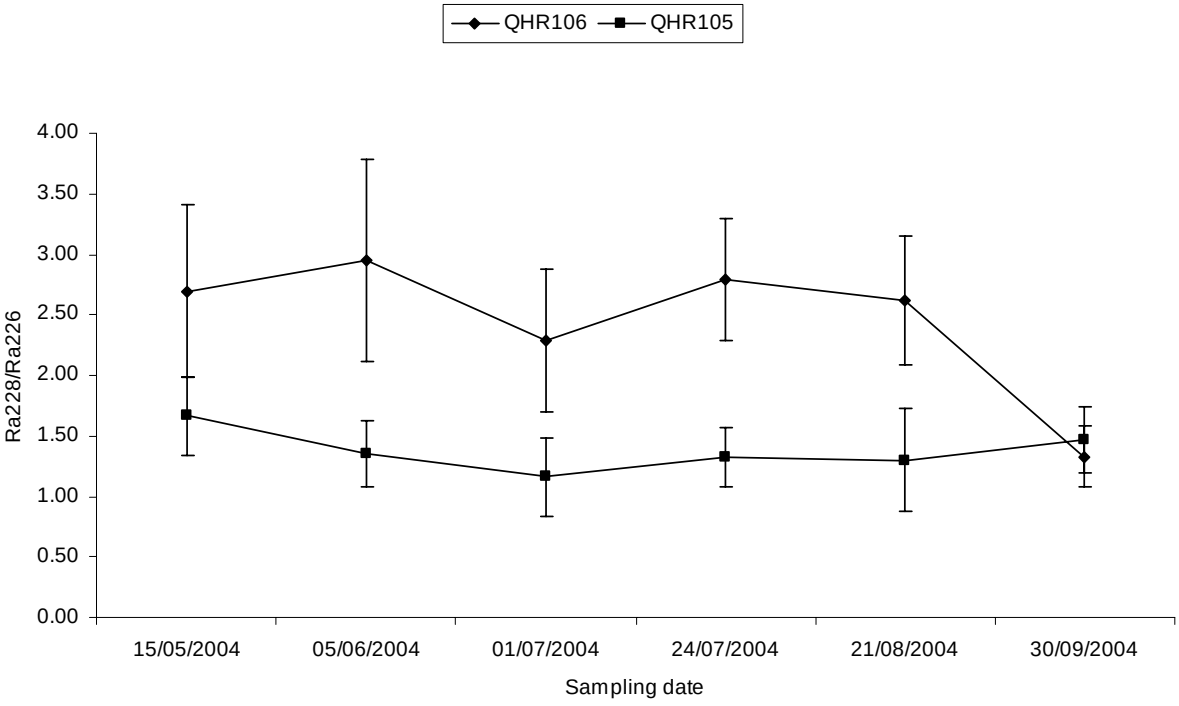
الشكل 11. التغيرات الشهرية لتركيز نشاط الراديوم226 في المياه المنتجة (حقل الفهار)



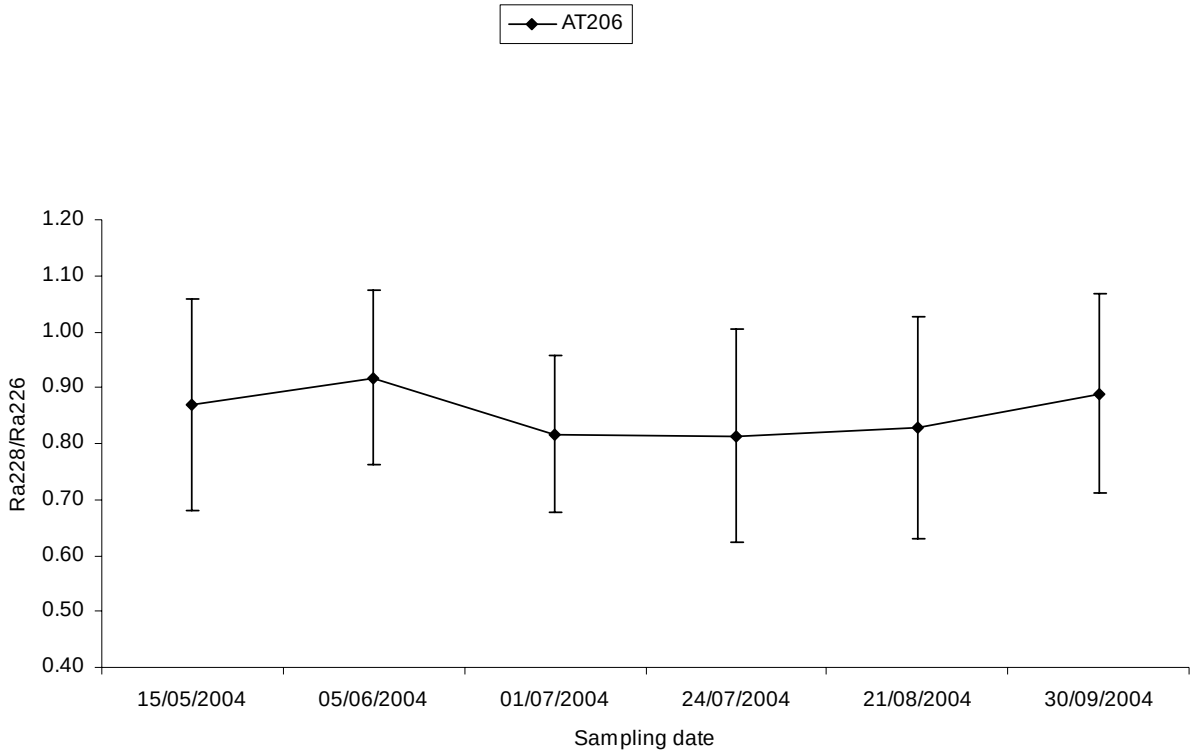
الشكل 12. التغيرات الشهرية لتركيز نشاط الراديوم226 في المياه المنتجة (حقل عطا الله)



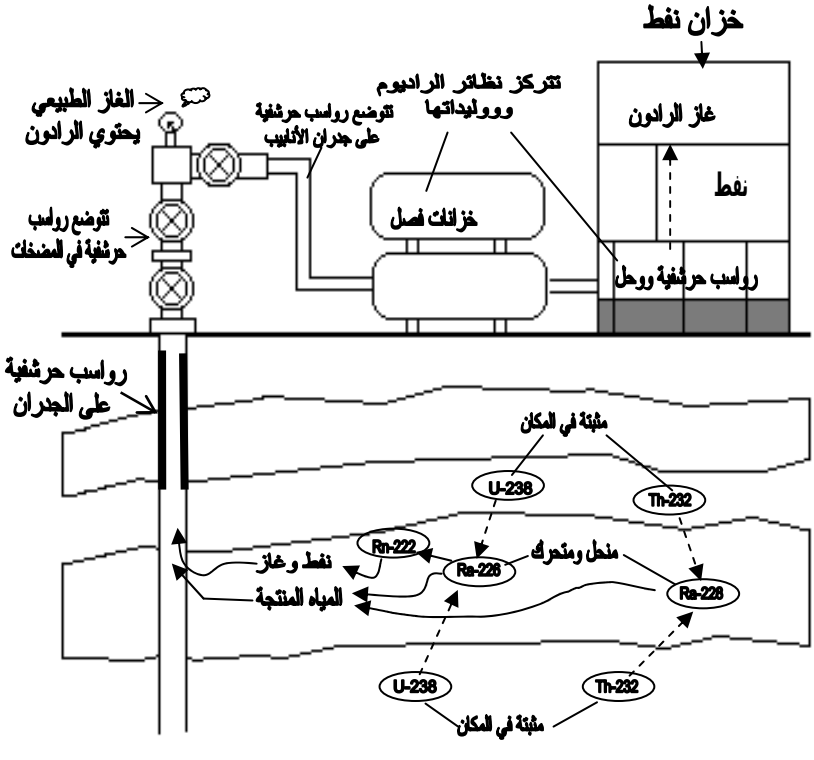
الشكل 13. التغيرات الشهرية للنسبة $^{228}Ra/^{226}Ra$ في المياه المنتجة (حقل الجفرا)



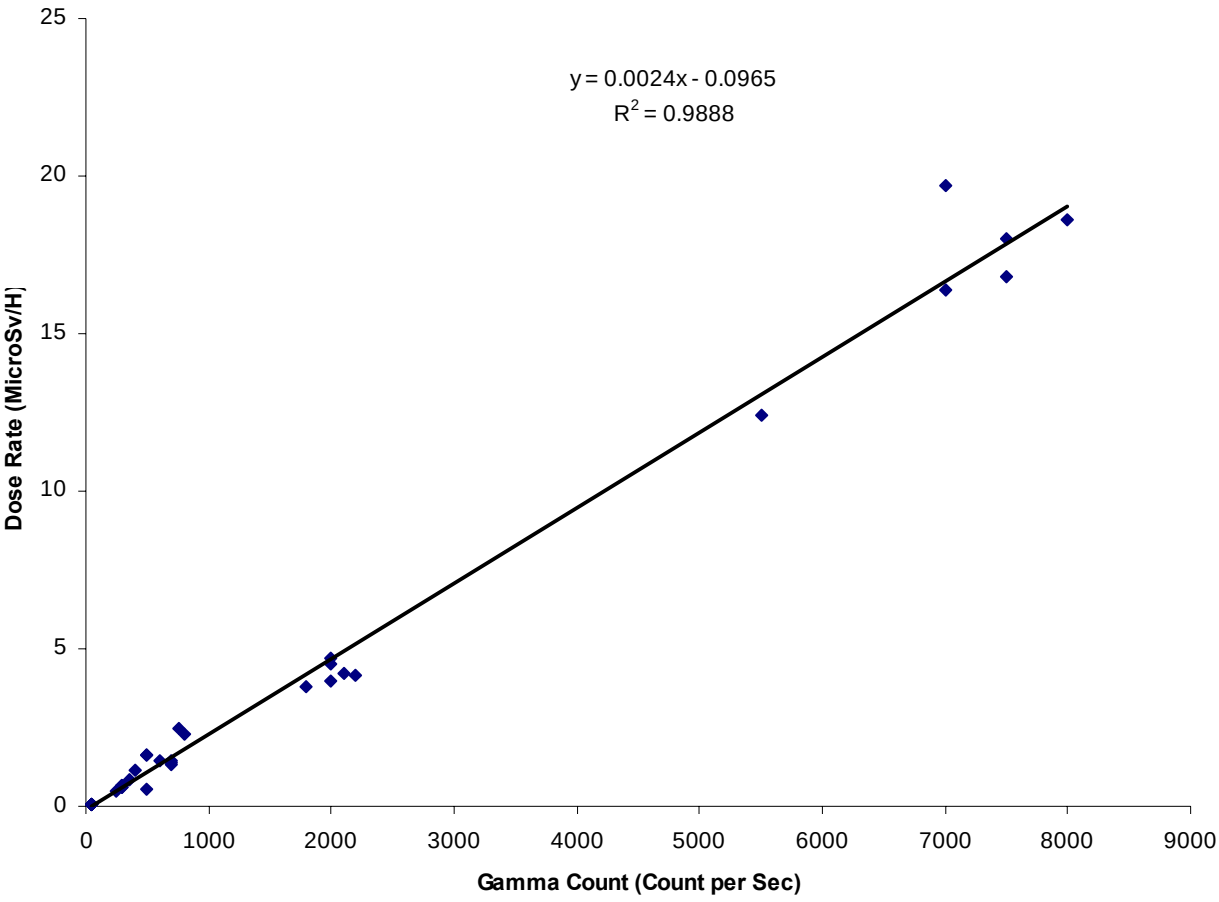
الشكل 14. التغيرات الشهرية للنسبة $^{228}Ra/^{226}Ra$ في المياه المنتجة (حقل الفهار)



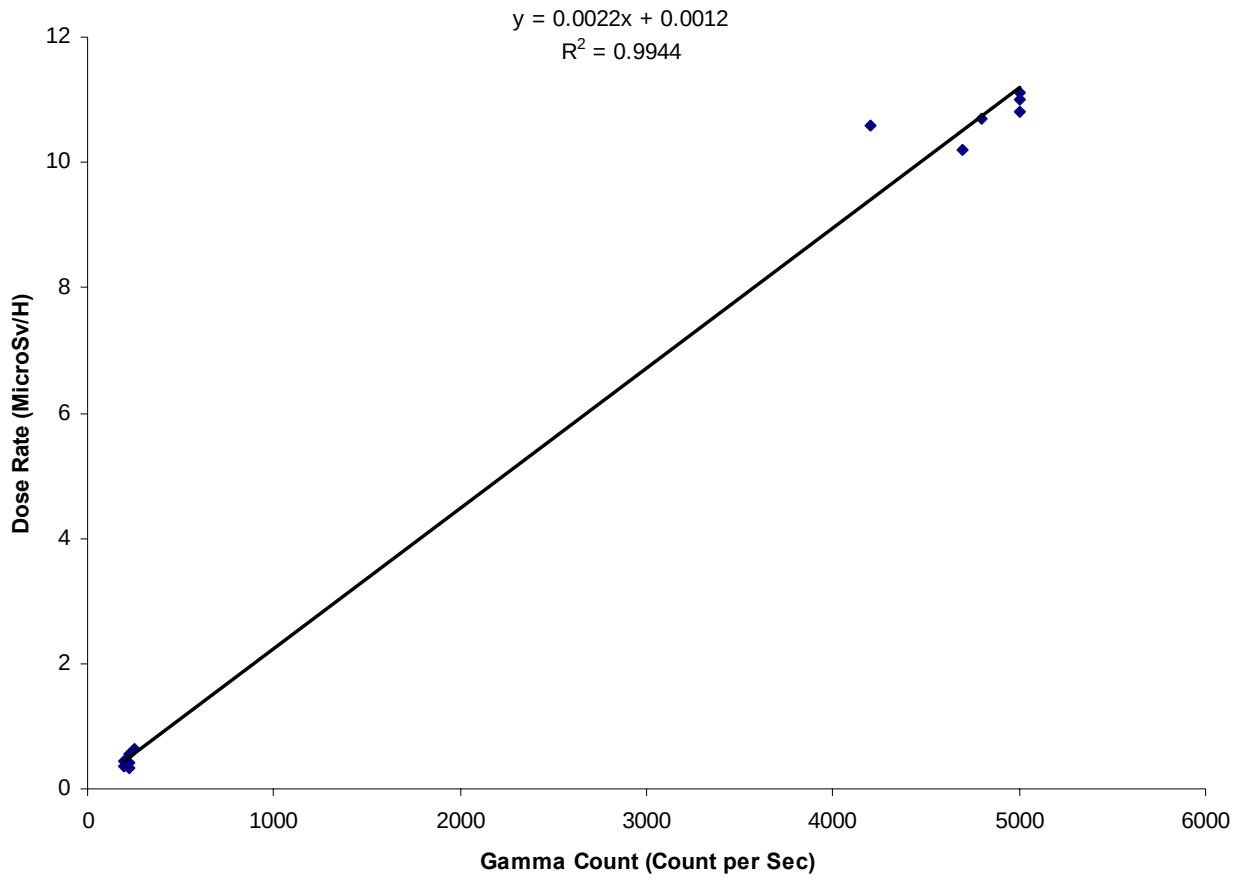
الشكل 15. التغيرات الشهرية للنسبة $^{228}Ra/^{226}Ra$ في المياه المنتجة (حقل عطا الله)



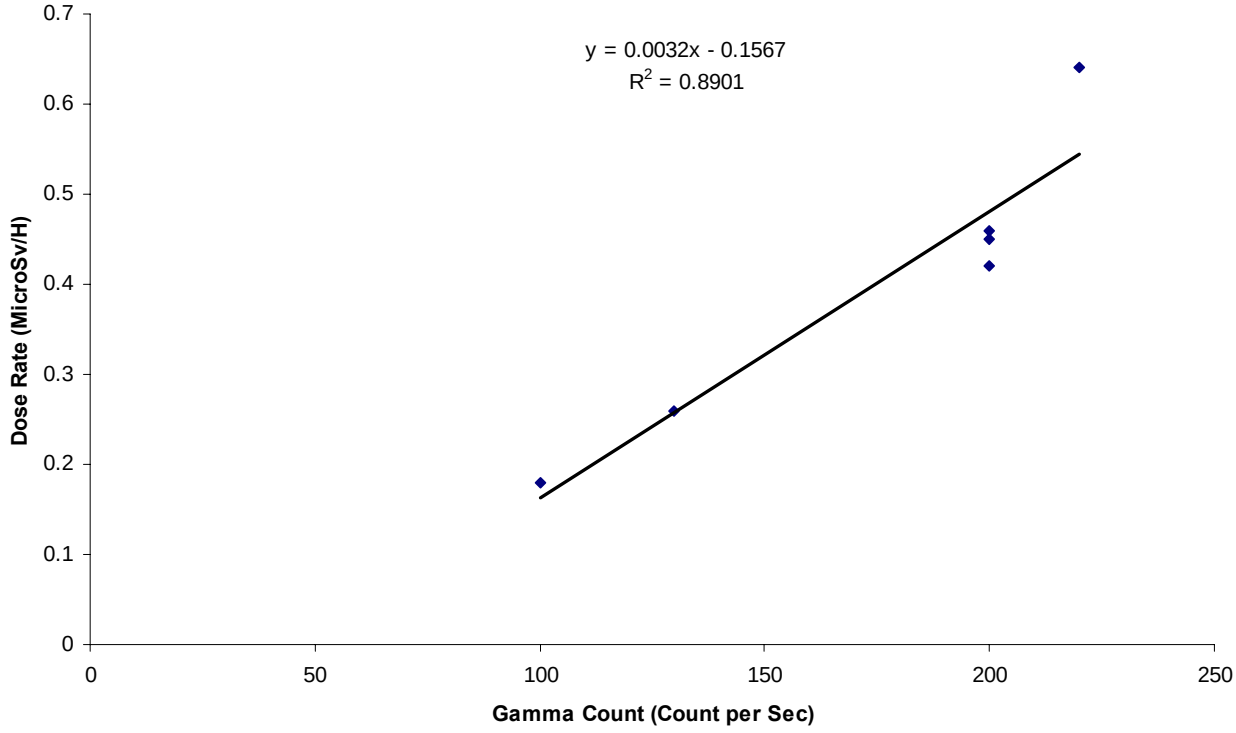
الشكل 16. منشأ المواد المشعة الطبيعية في صناعة النفط



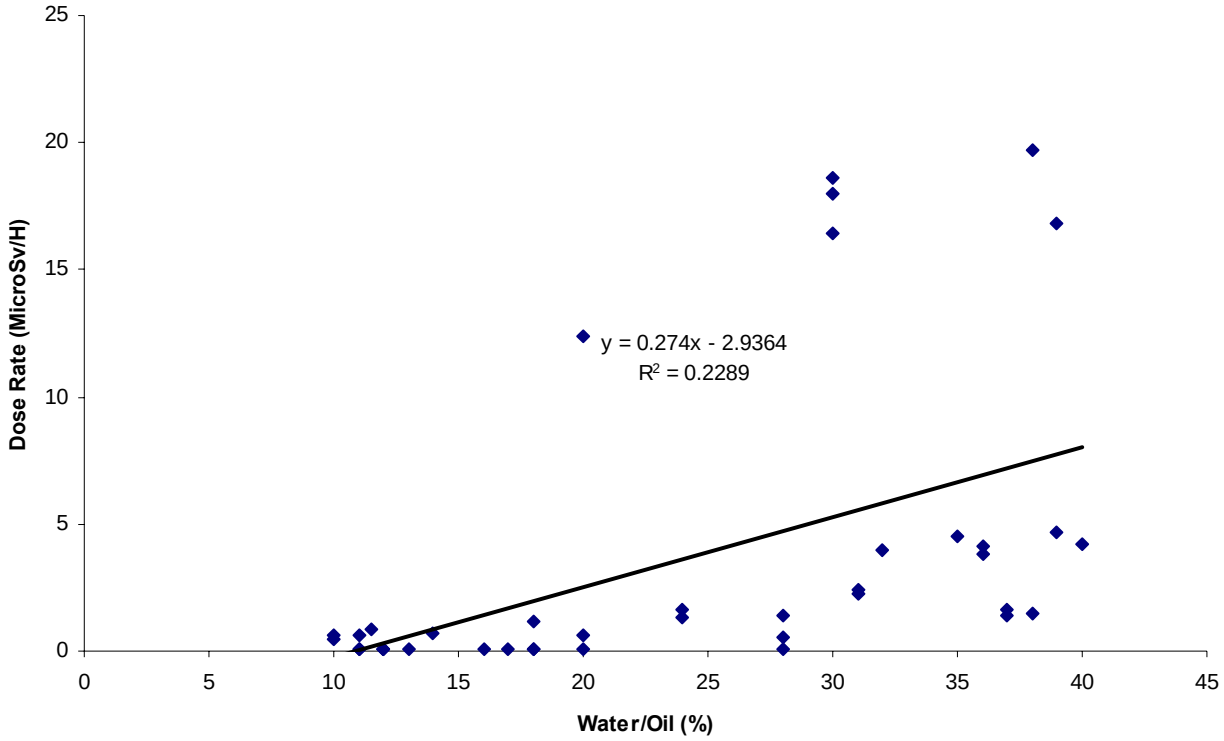
الشكل 17. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية وتعداد غاما (حفل الجفرا)



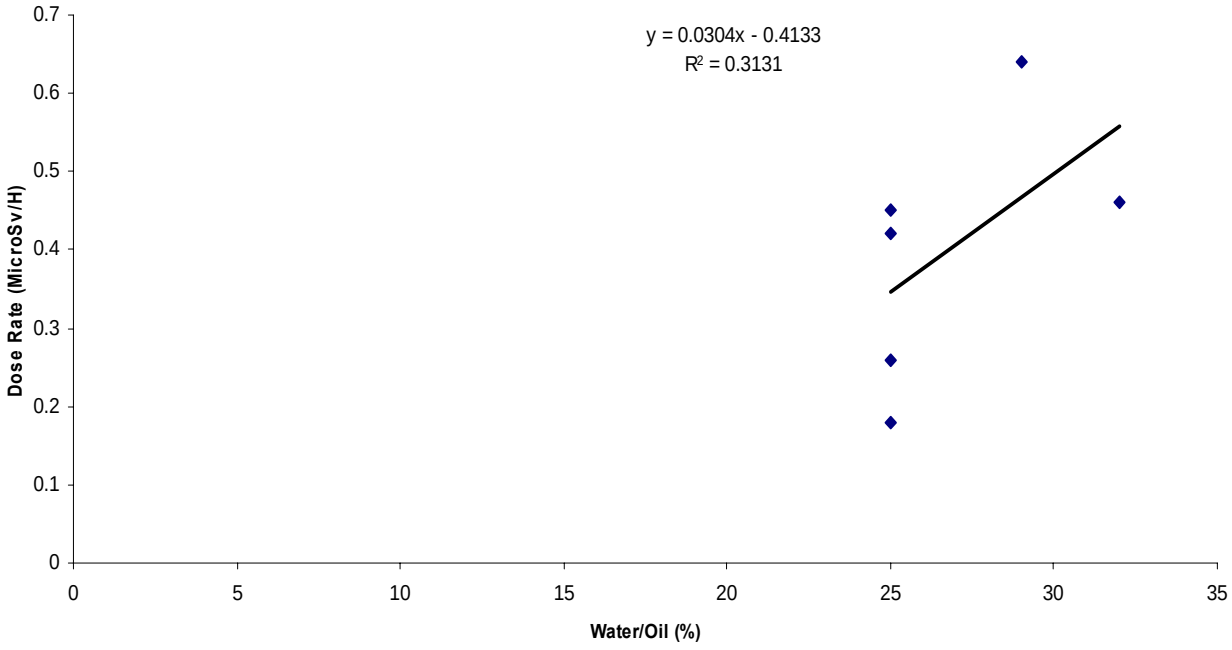
الشكل 18. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية وتعداد غاما (حقل القهار)



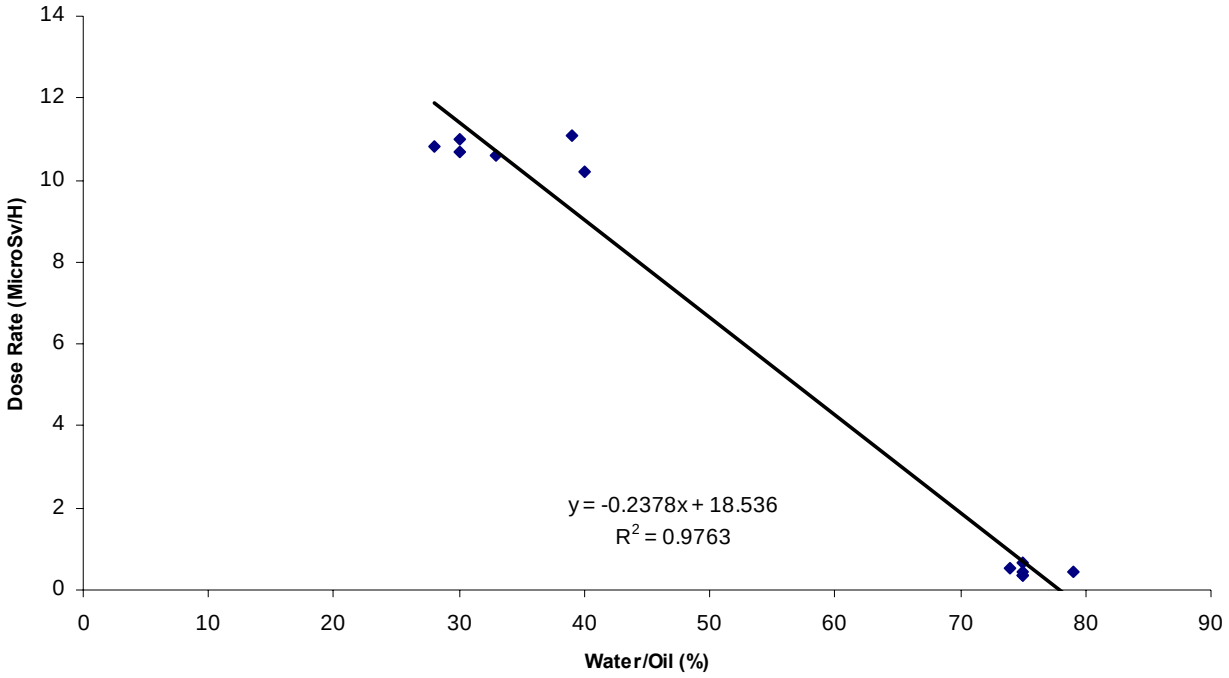
الشكل 19. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية وتعداد غاما (حقل عطا الله)



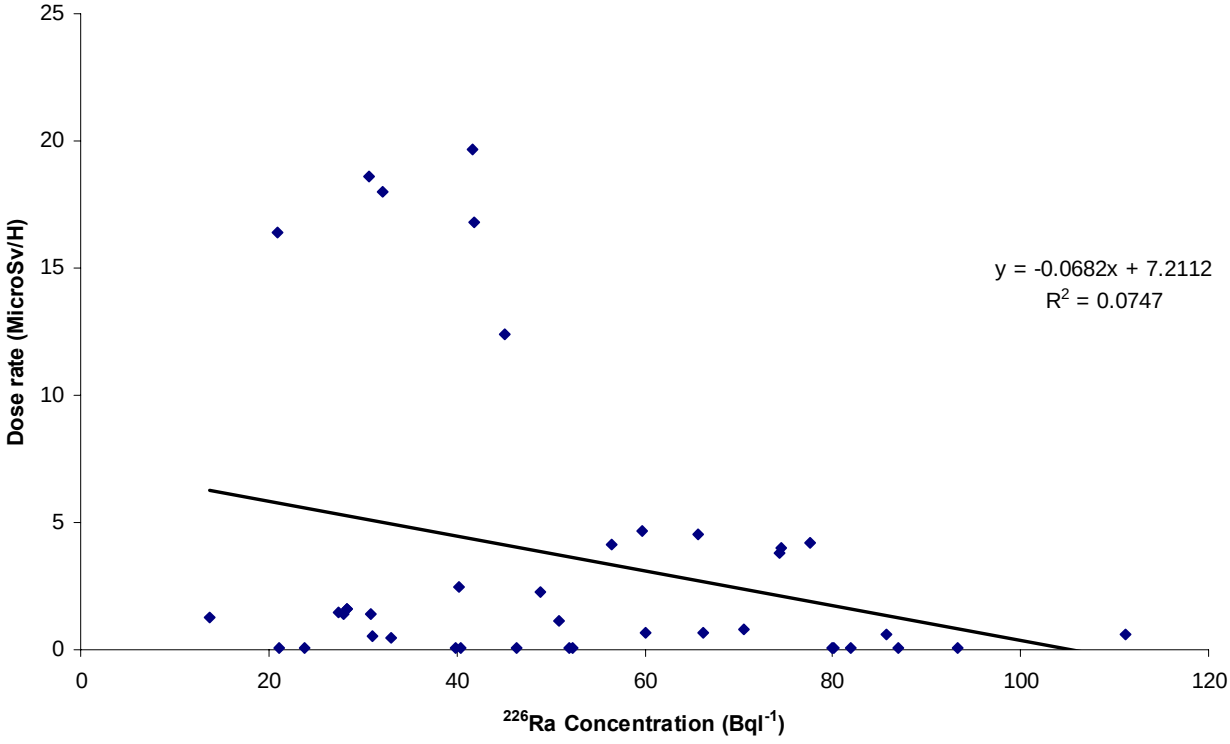
الشكل 20. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية ونسبة المياه/النفط (حقل الجفرا)



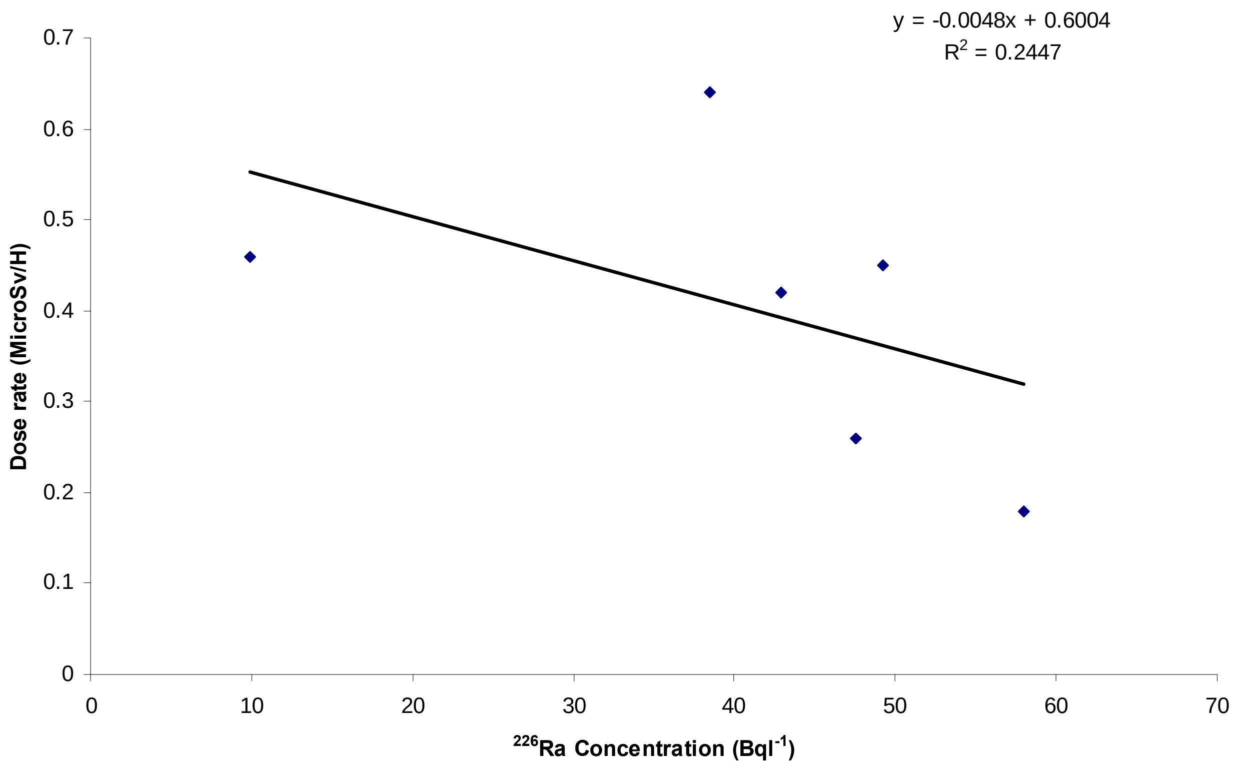
الشكل 21. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية ونسبة المياه/النفط (حقل القهار)



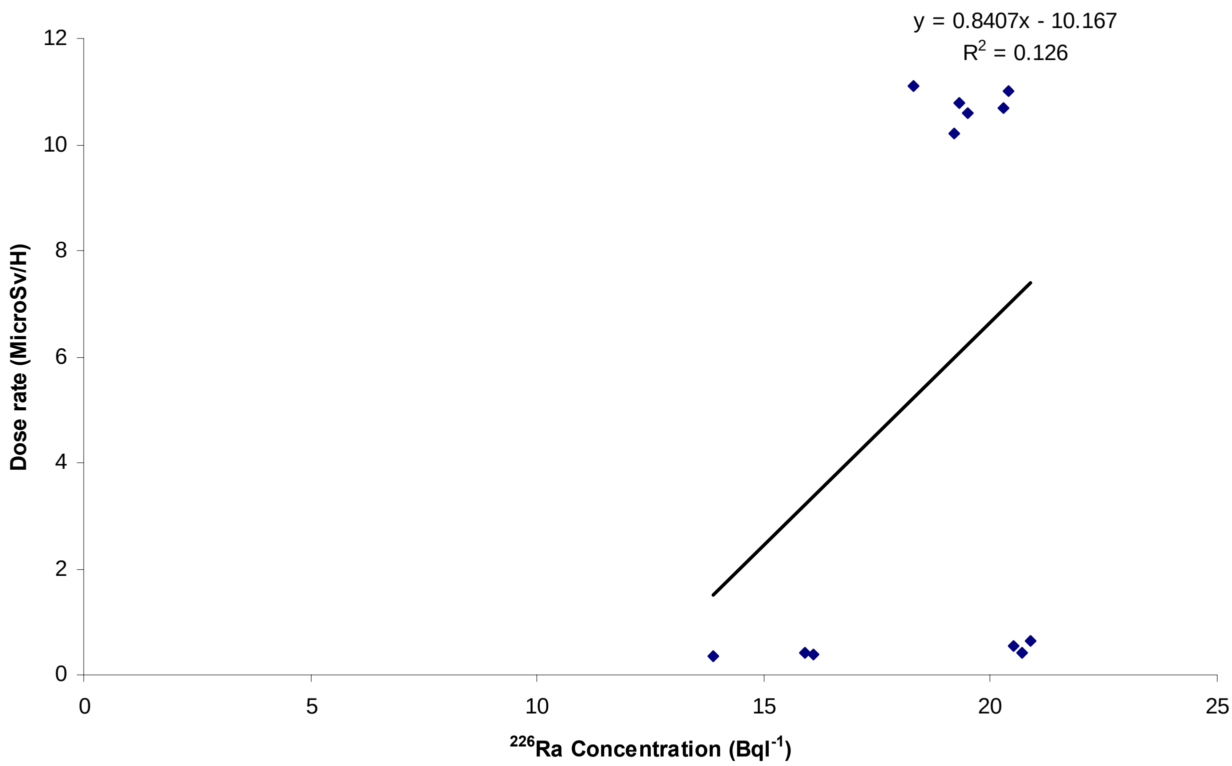
الشكل 22. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية ونسبة المياه/النفط (حقل عطا الله)



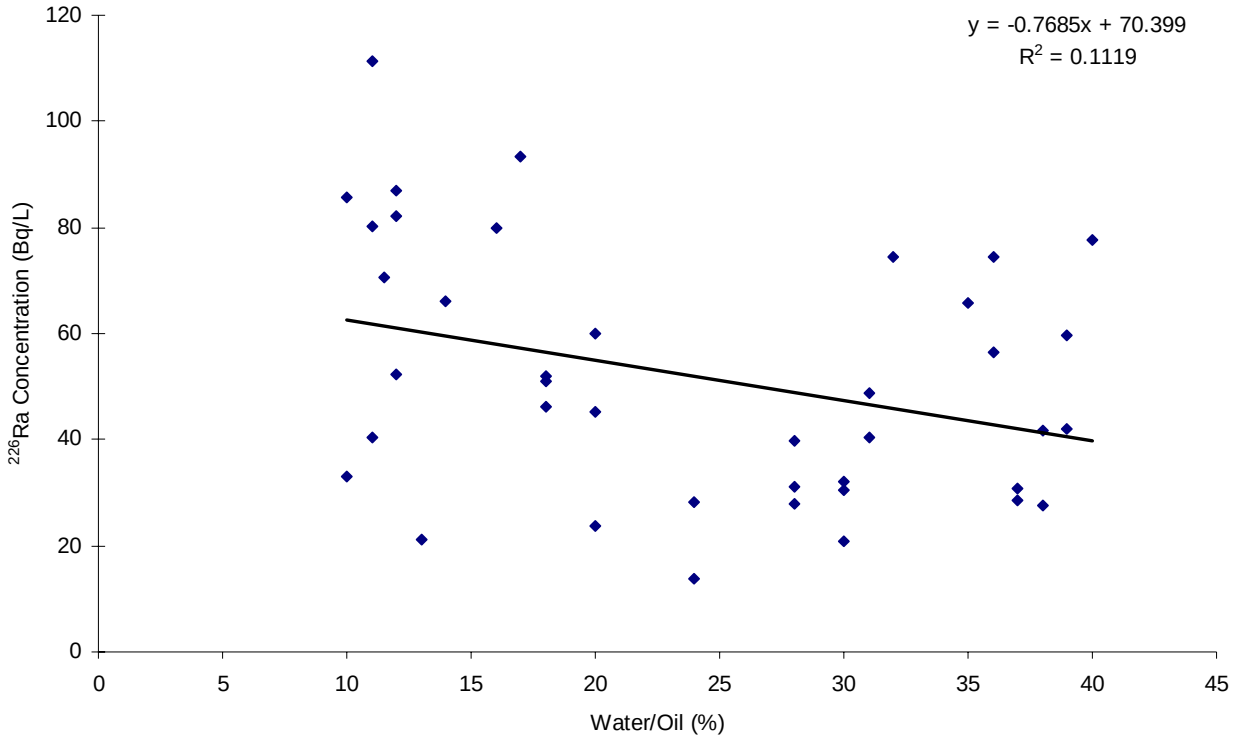
الشكل 23. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية وتركيز الراديوم226 في المياه المرافقة (حقل الجفرا)



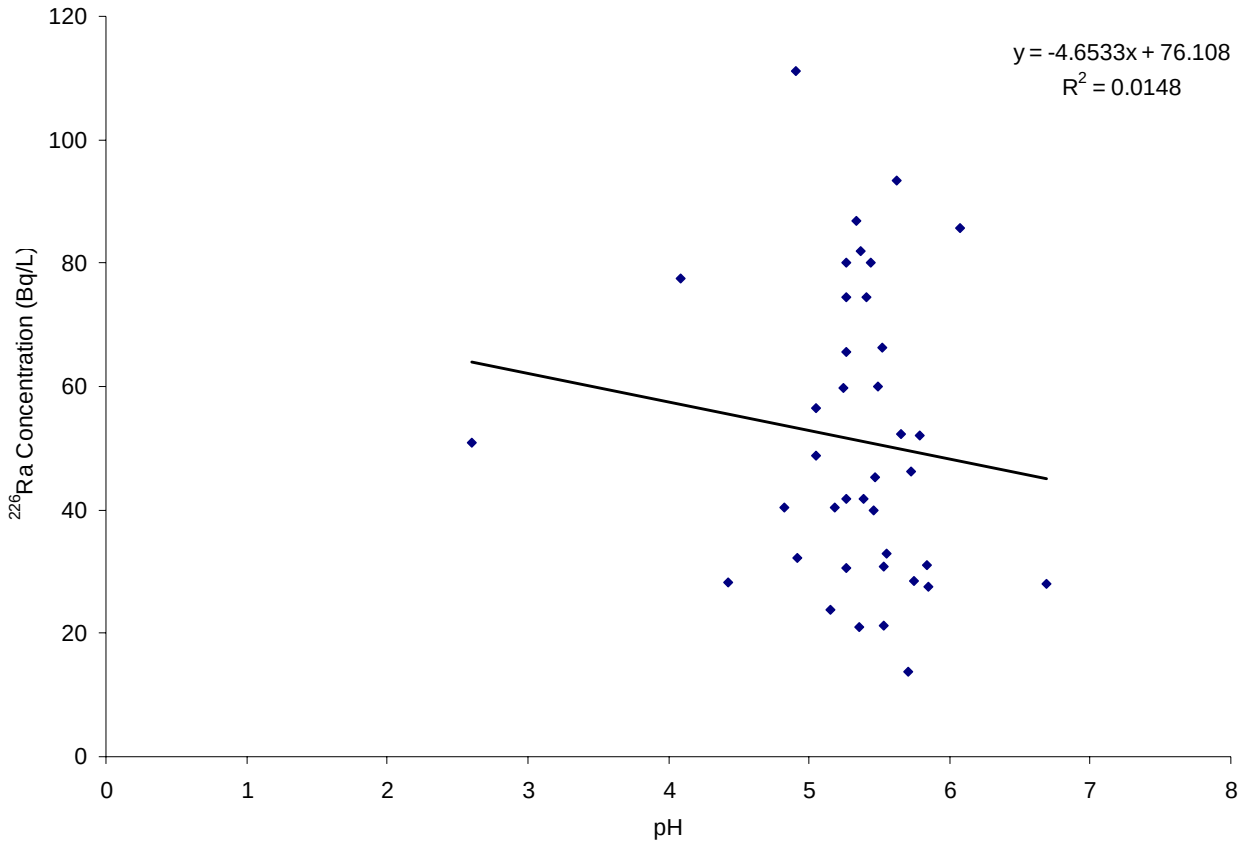
الشكل 24. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية وتركيز الراديوم226 في المياه المرافقة (حقل الفهار)



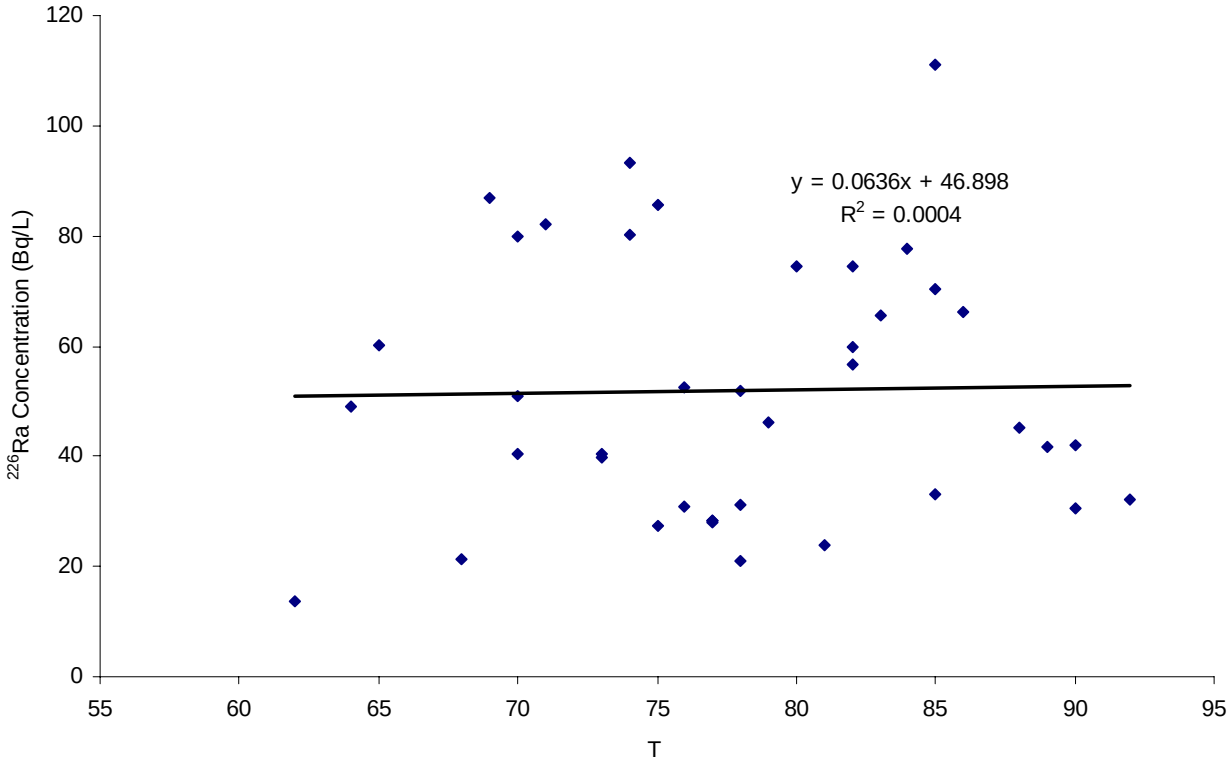
الشكل 25. العلاقة بين معدل الجرعة الإشعاعية وتركيز الراديوم226 في المياه المرافقة (حقل عطا الله)



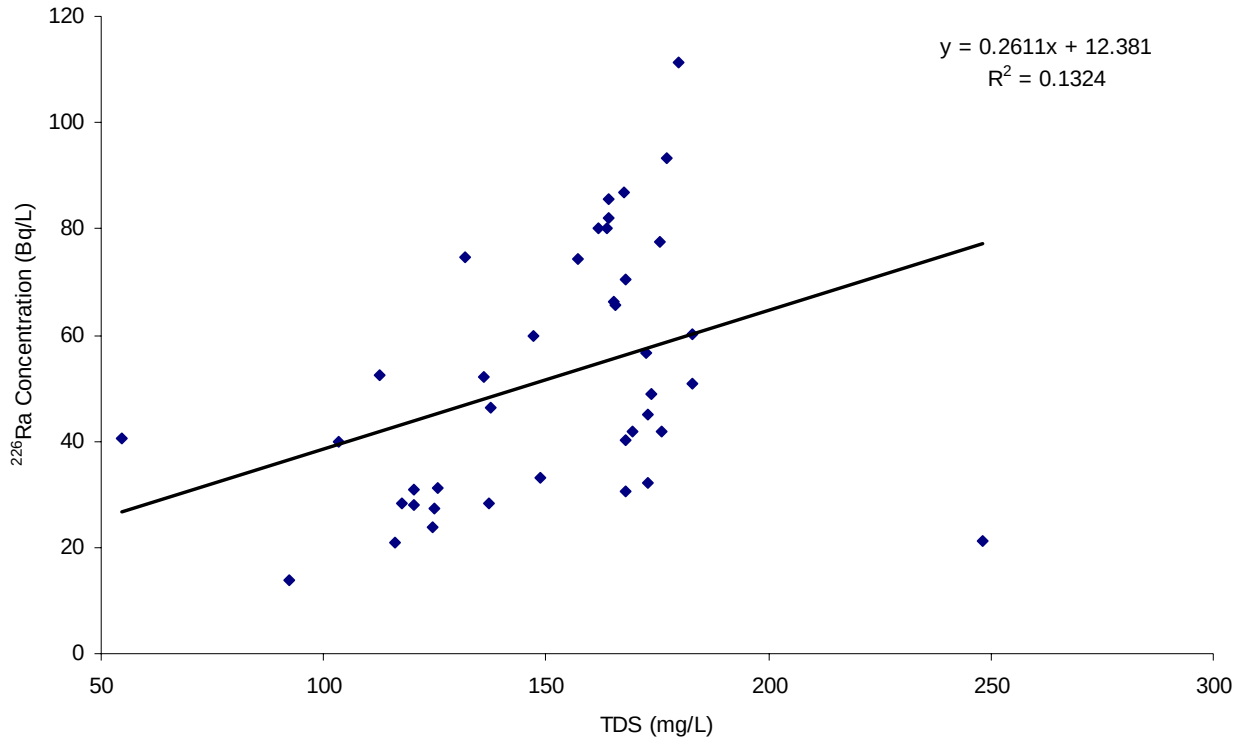
الشكل 26. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع نسبة المياه المنتجة (حقل الجفرا)



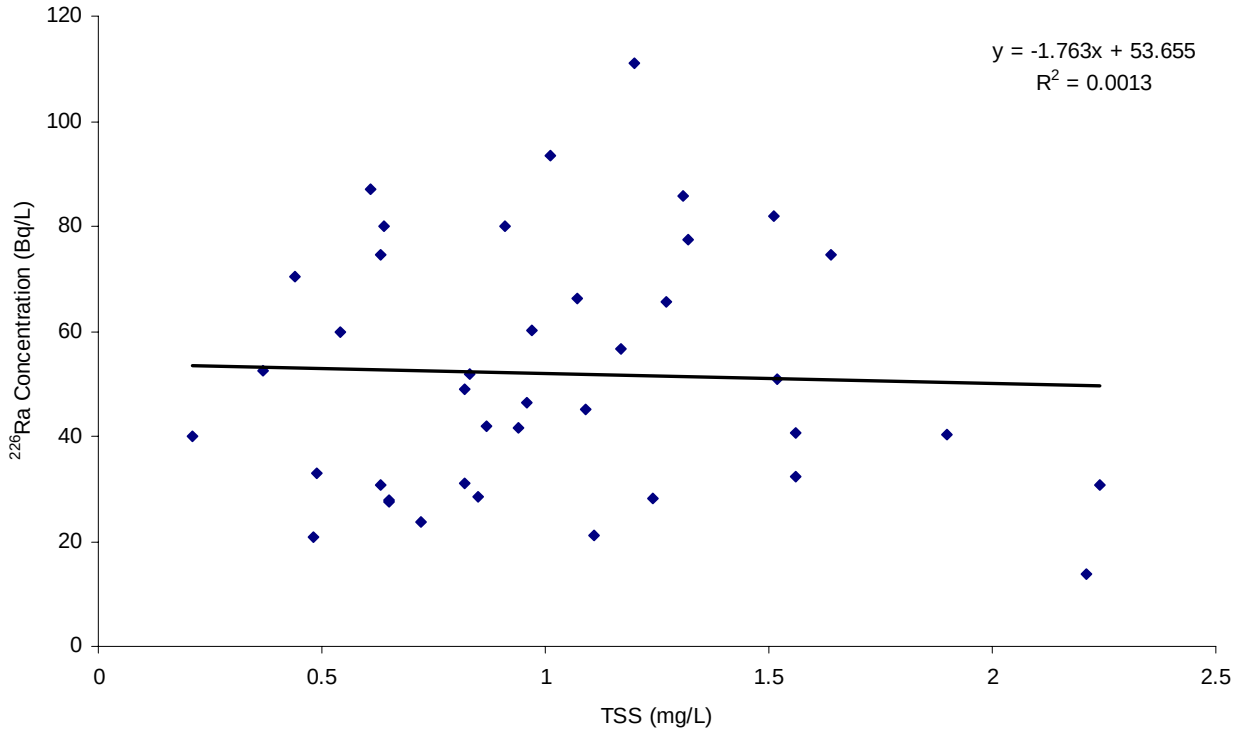
الشكل 27. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز pH (حقل الجفرا)



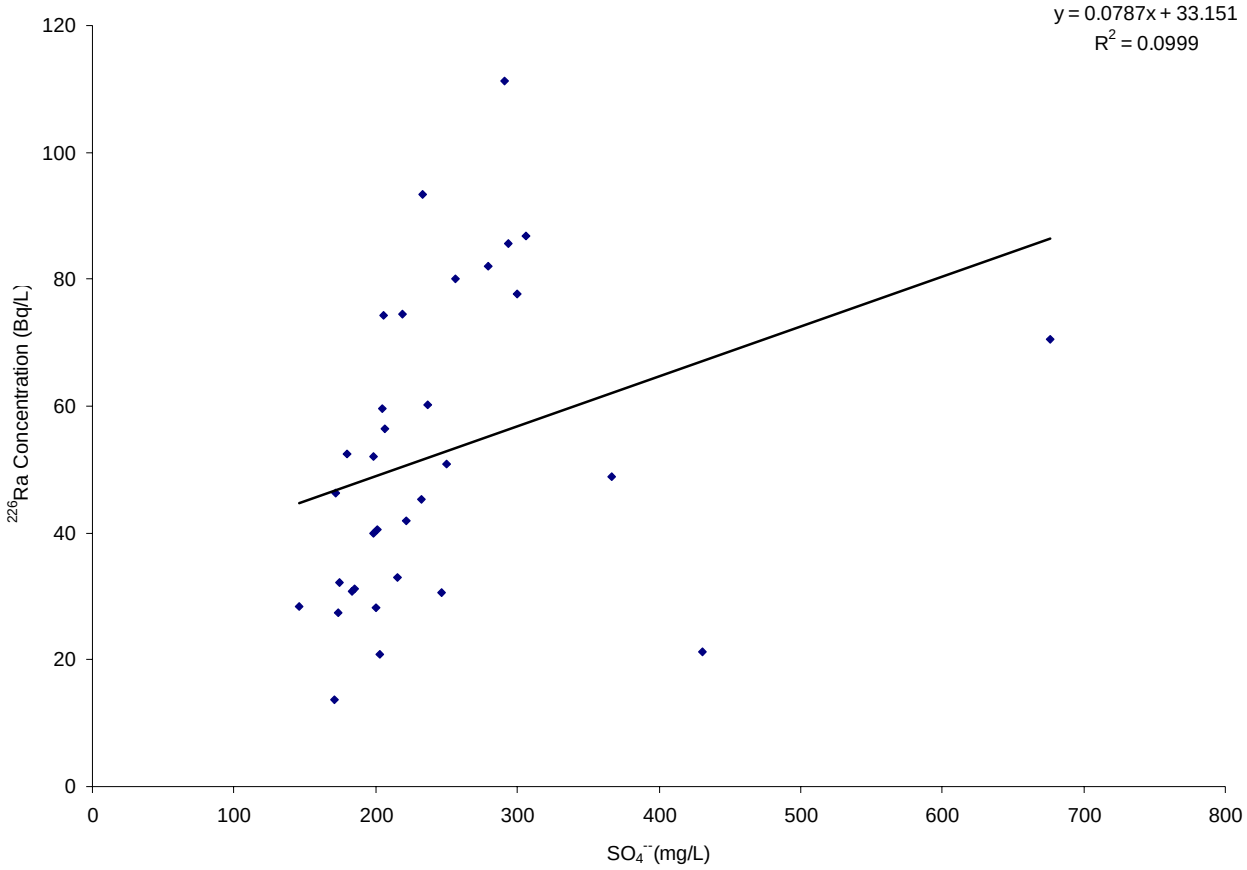
الشكل 28. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع درجة الحرارة (حقل الجفرا)



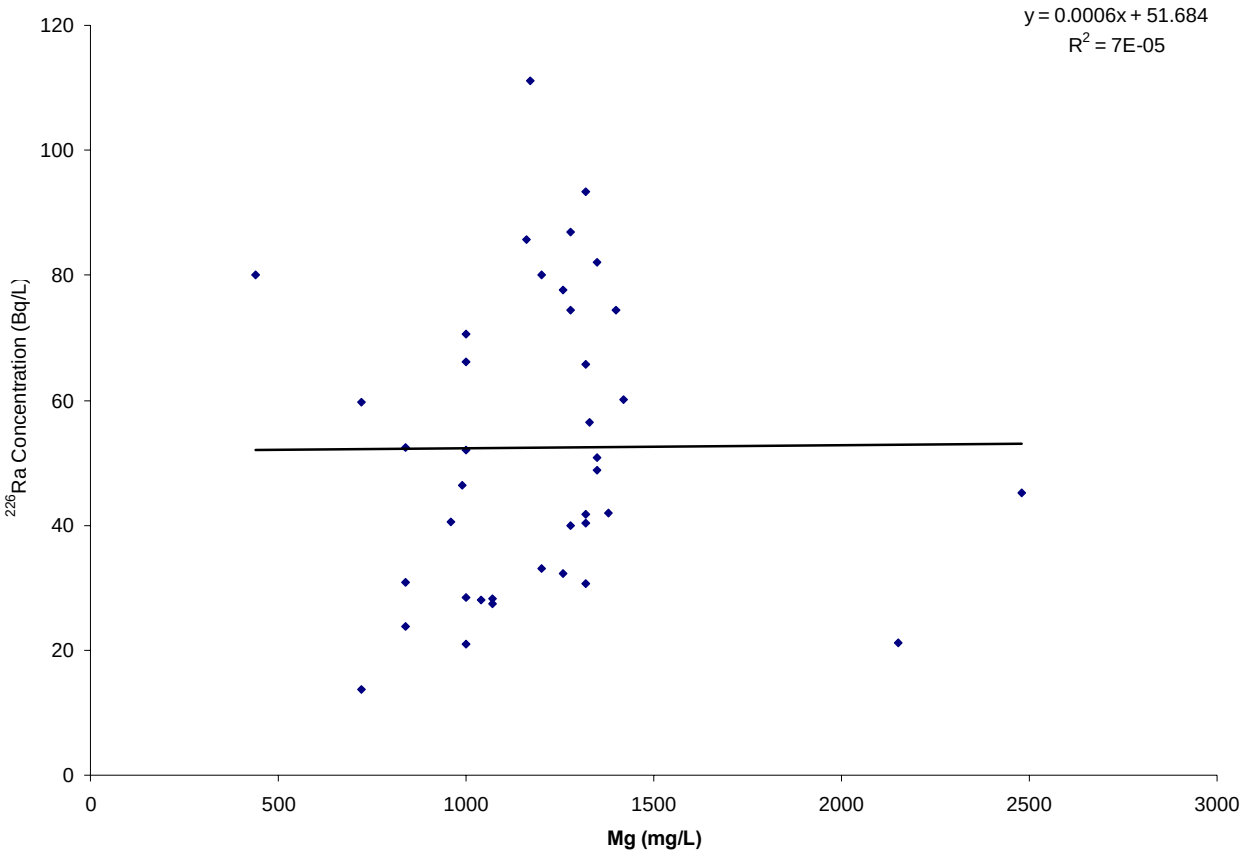
الشكل 29. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز TDS (حقل الجفرا)



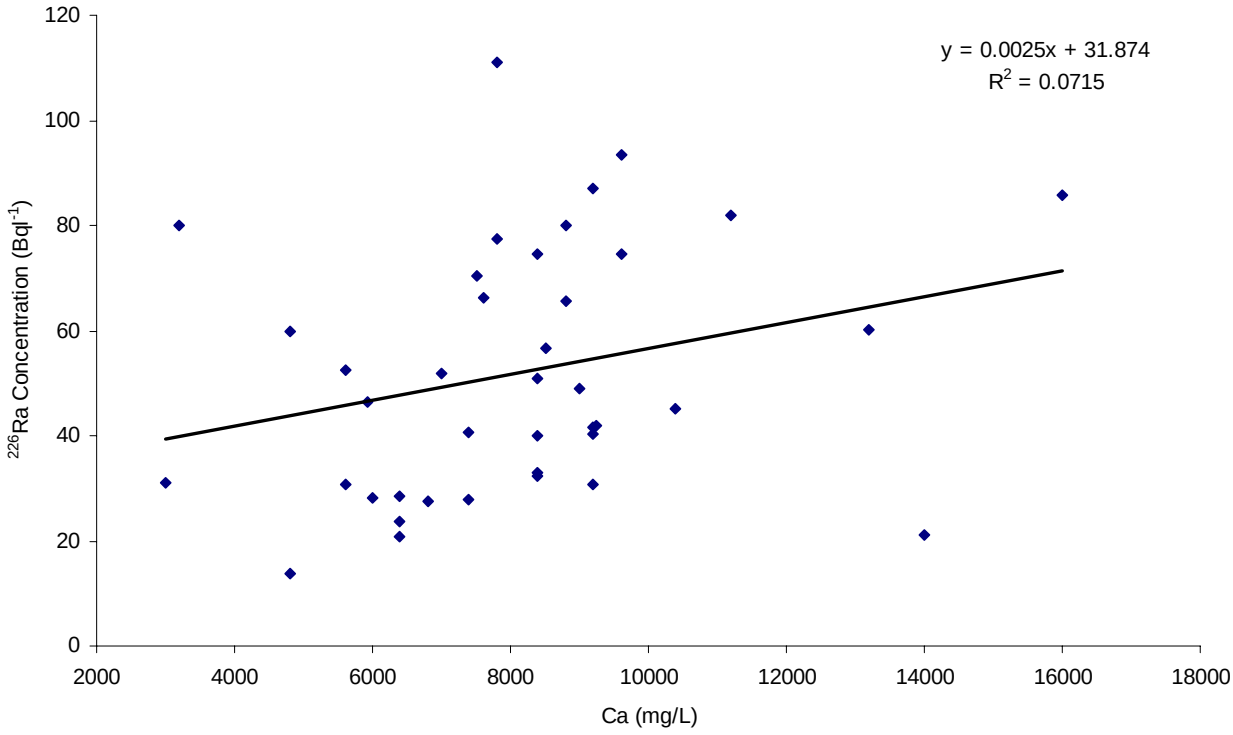
الشكل 30. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز TSS (حقل الجفرا)



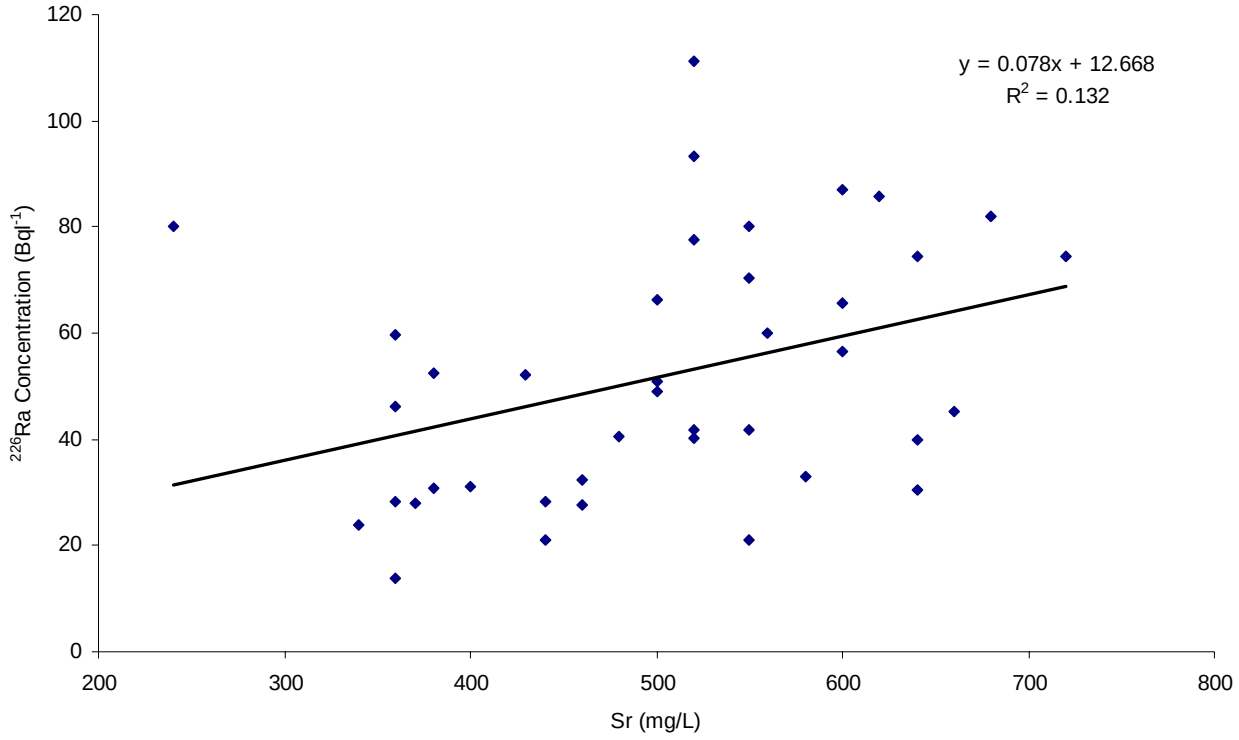
الشكل 31. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز الكبريتات (حقل الجفرا)



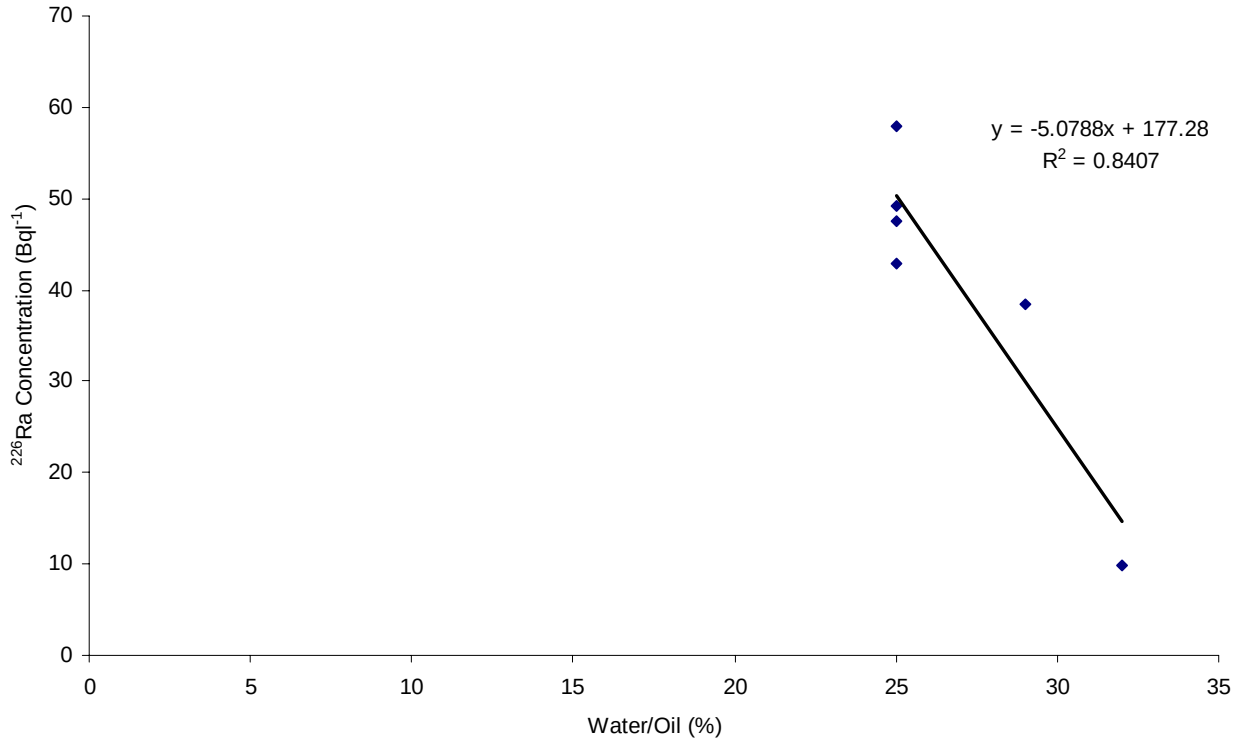
الشكل 32. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز المغنيزيوم (حقل الجفرا)



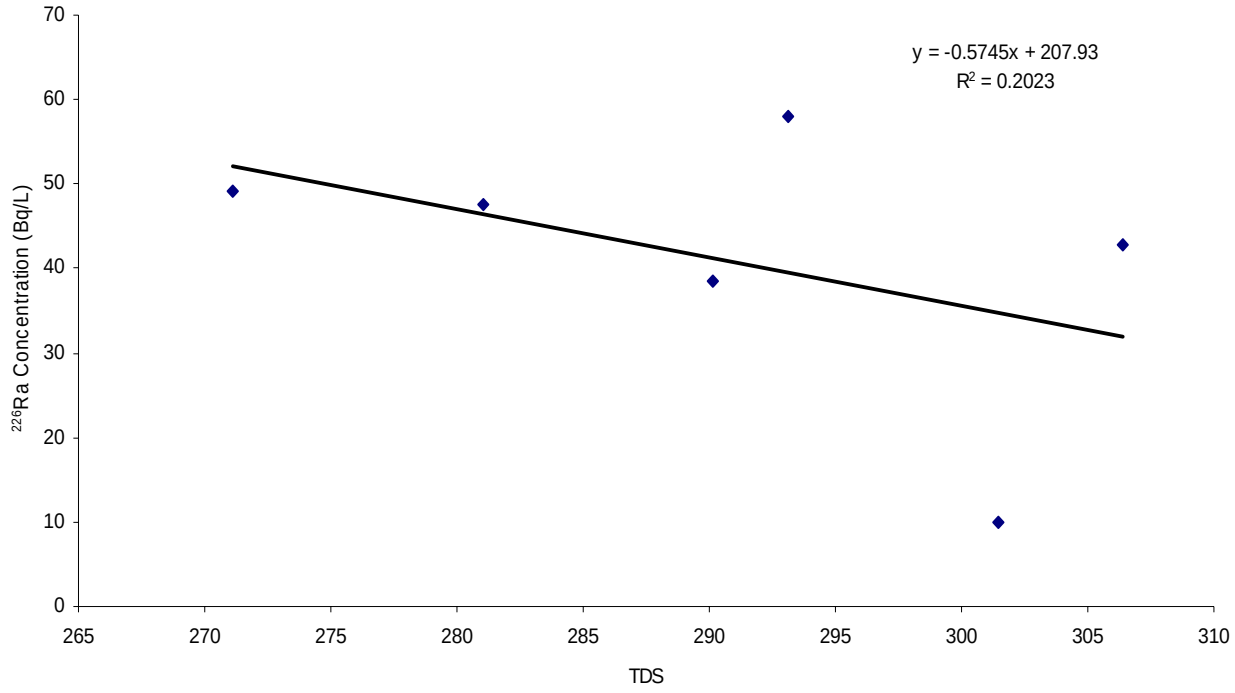
الشكل 33. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز الكالسيوم (حقل الجفرا)



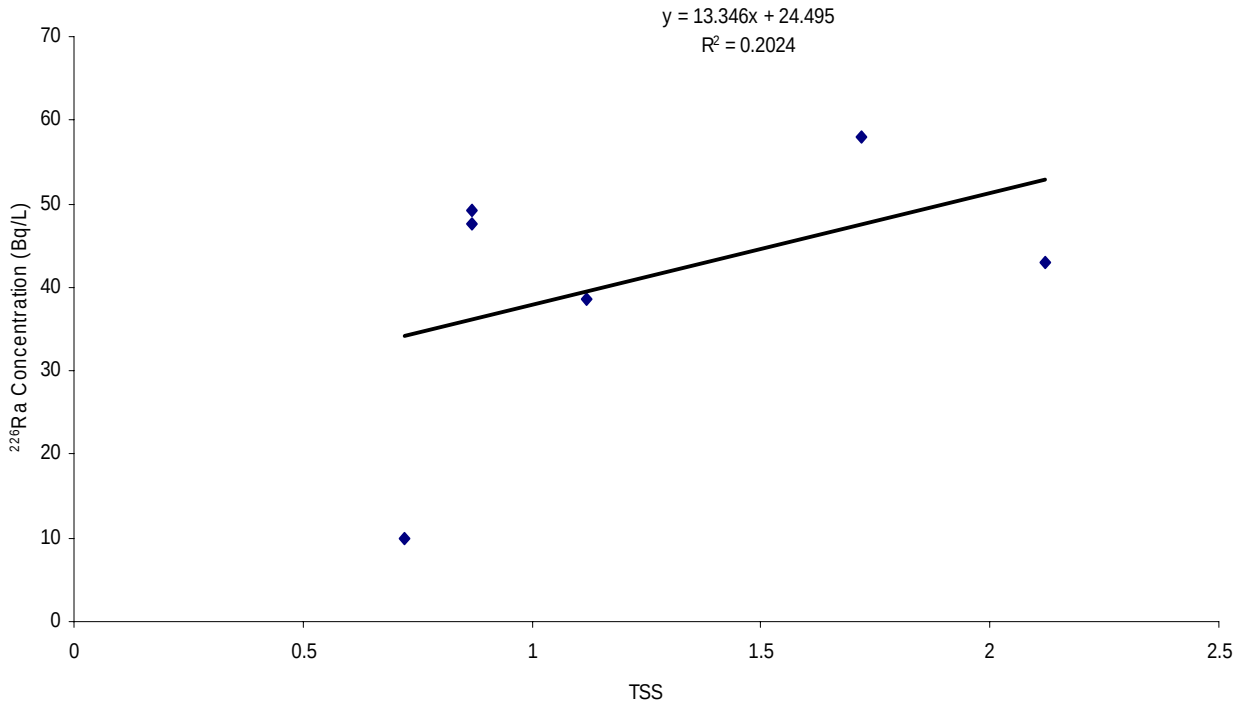
الشكل 34. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز السترونسيوم (حقل الجفرا)



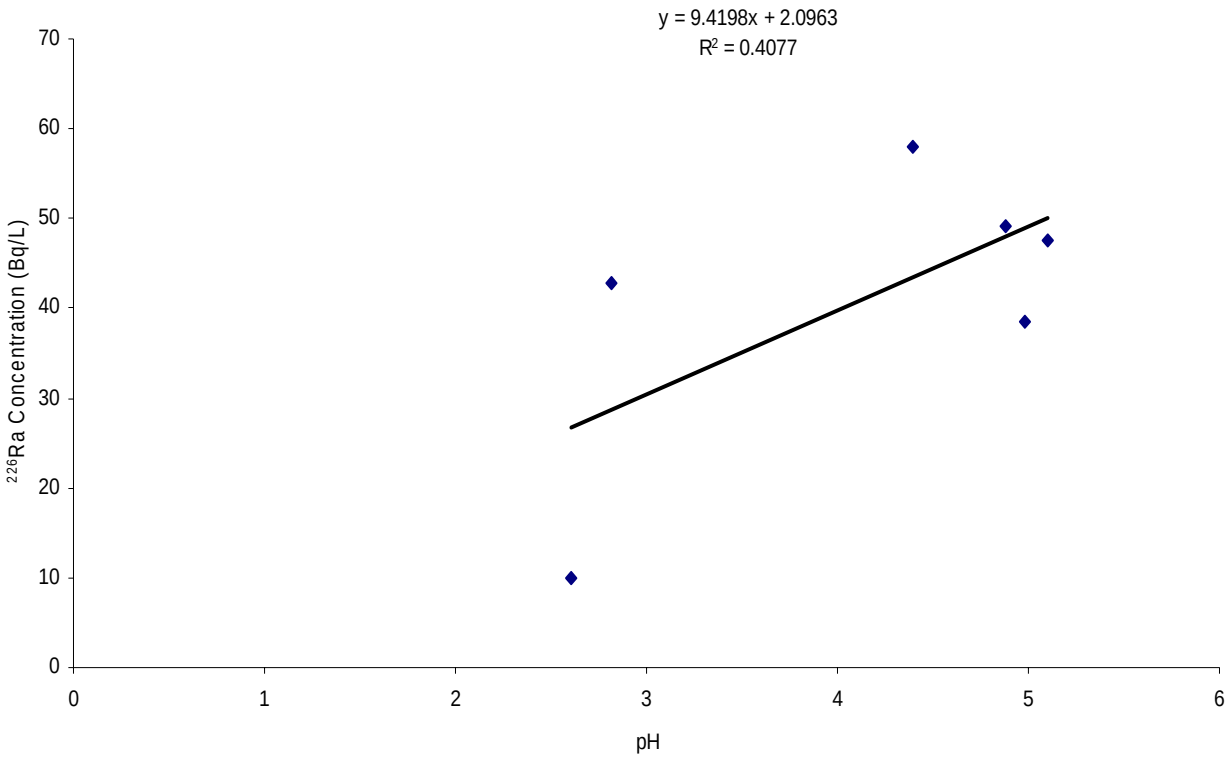
الشكل 35. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع نسبة المياه المنتجة (حقل عطا الله)



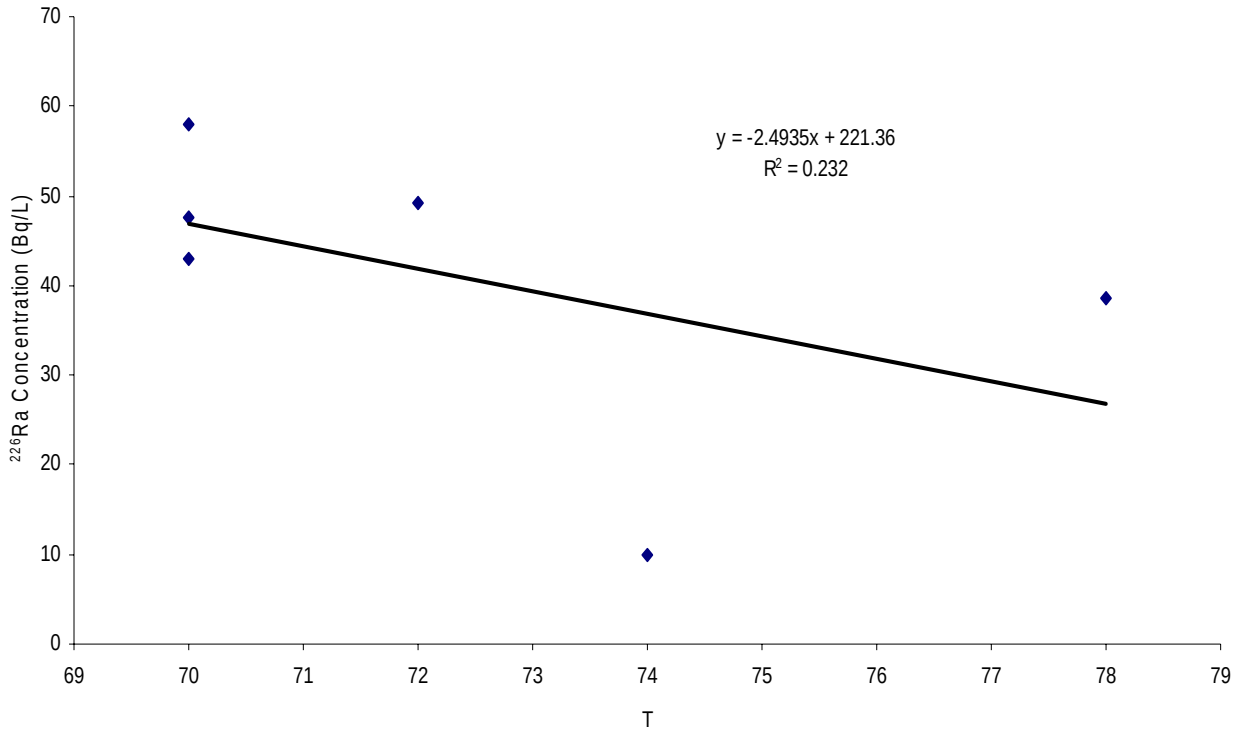
الشكل 36. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز TDS (حقل عطا الله)



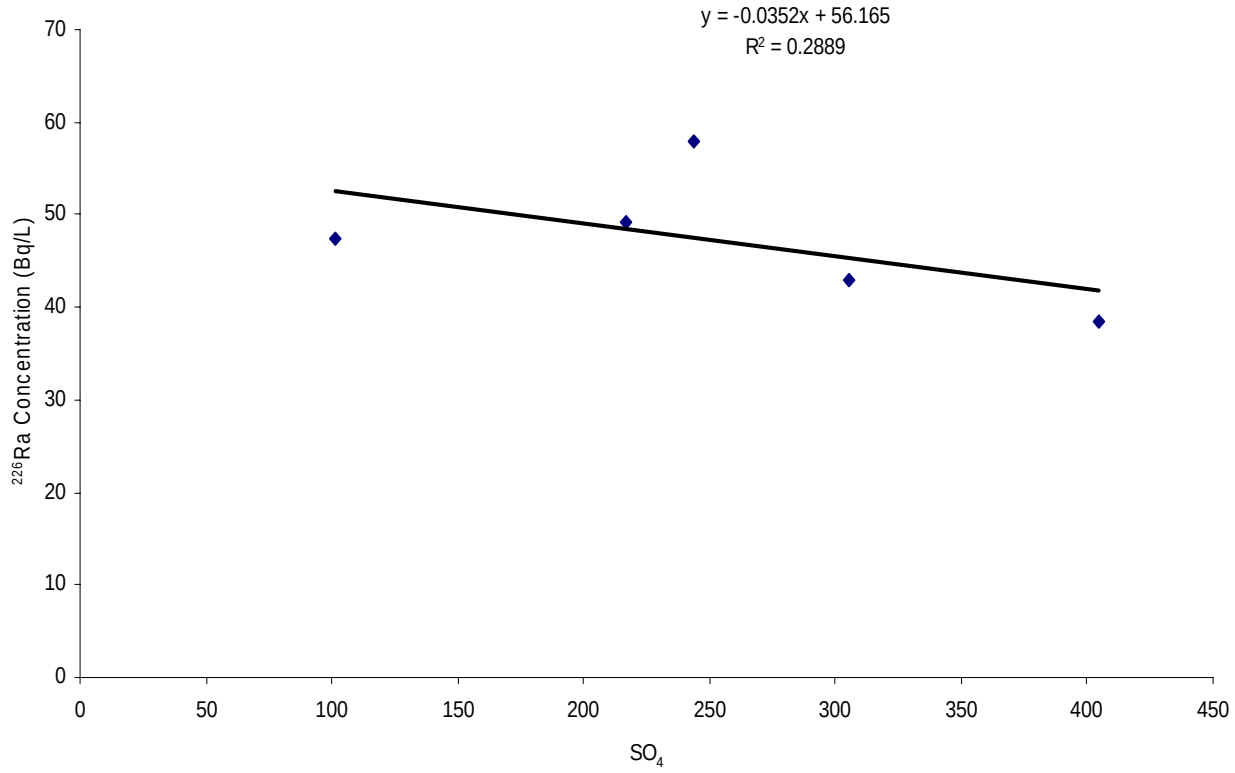
الشكل 37. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز TSS (حقل عطا الله)



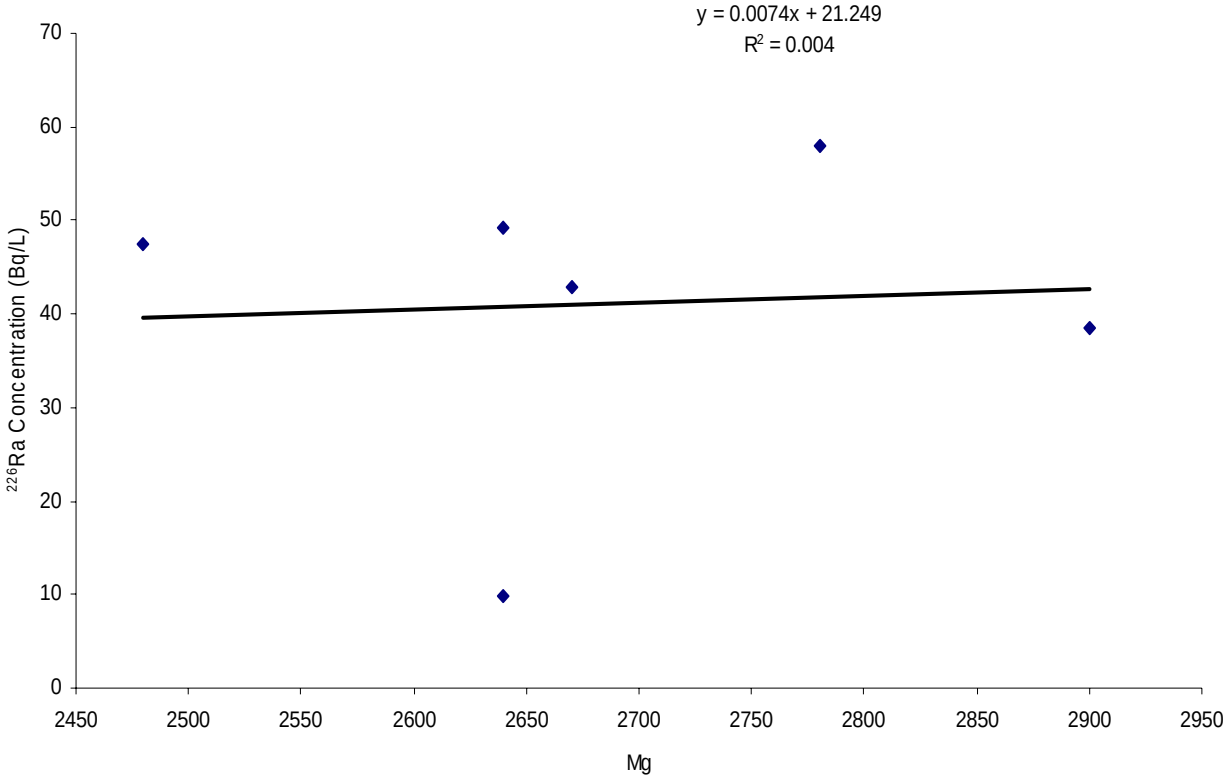
الشكل 38. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز pH (حقل عطا الله)



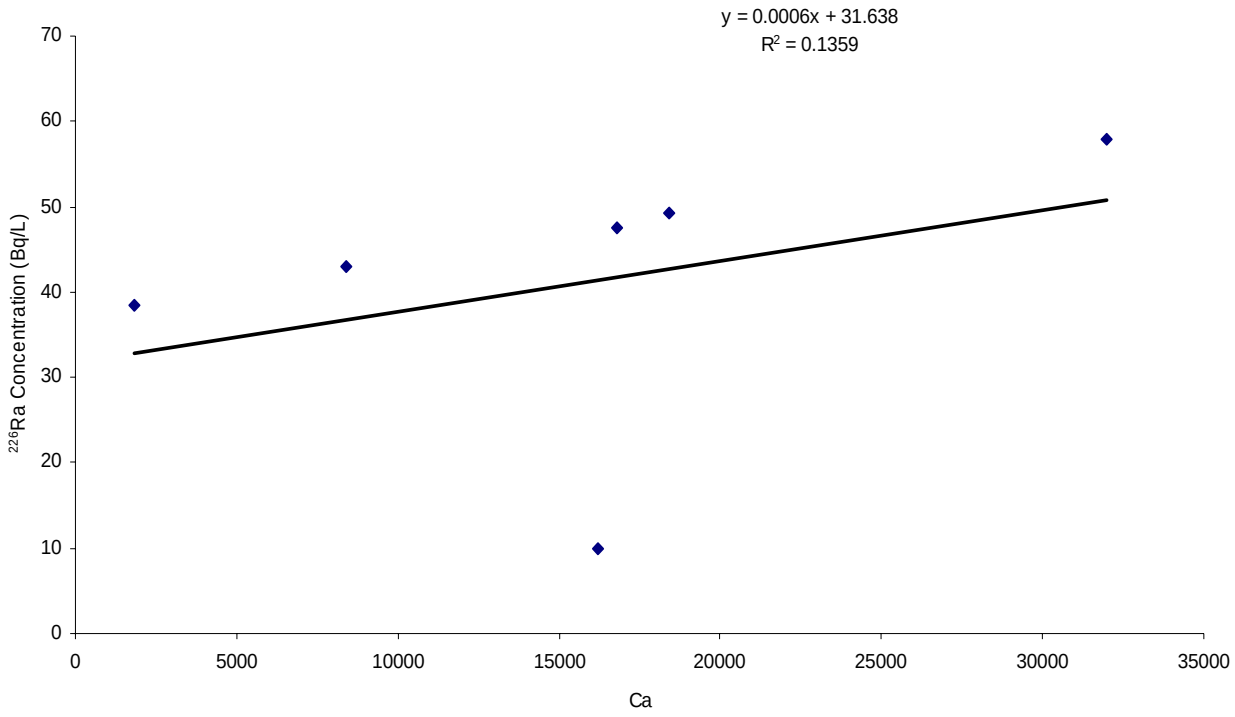
الشكل 39. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع درجة الحرارة (حقل عطا الله)



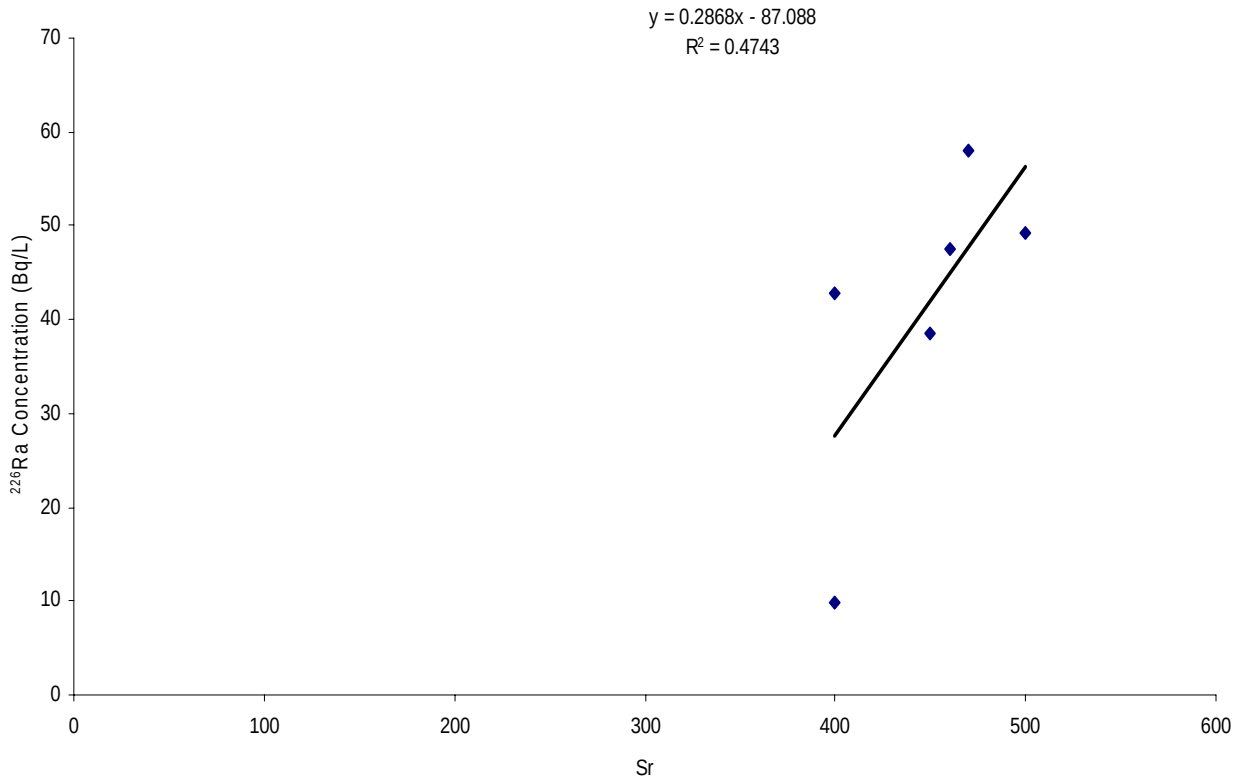
الشكل 40. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز تركيز الكبريتات (حقل عطا الله)



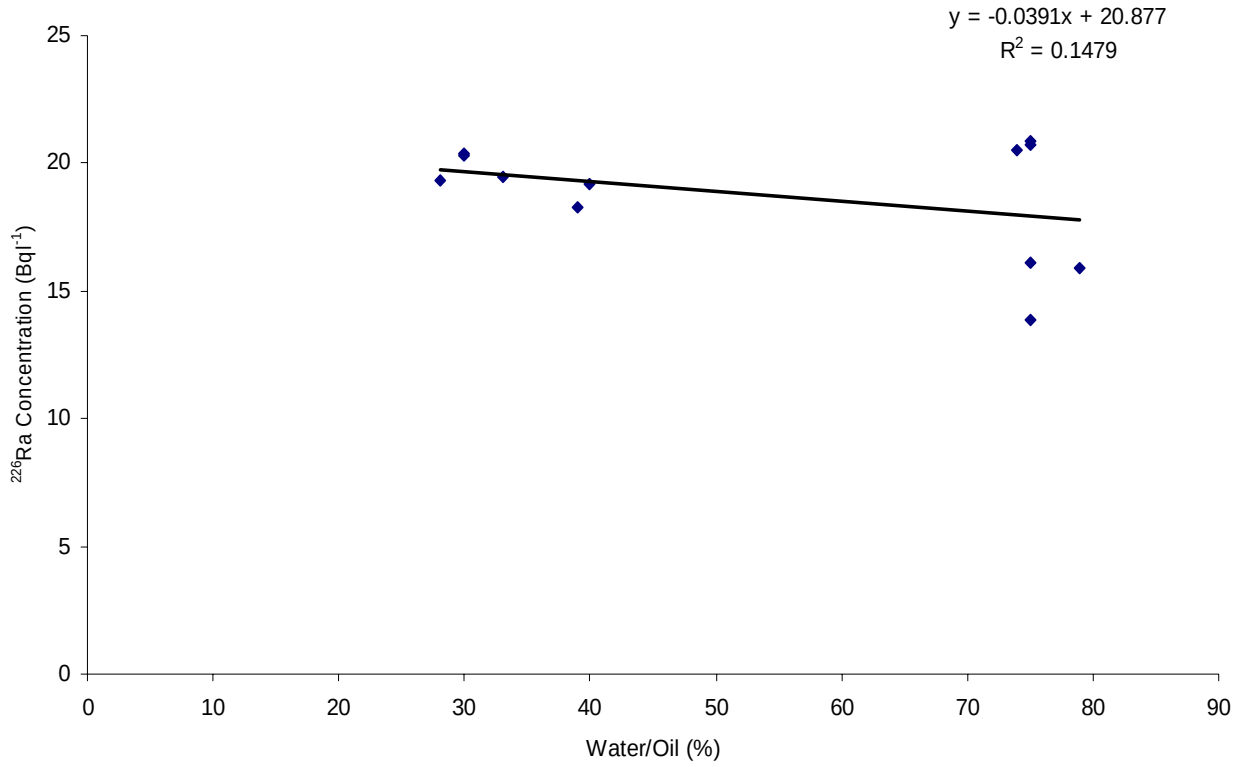
الشكل 41. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز المغنيزيوم (حقل عطا الله)



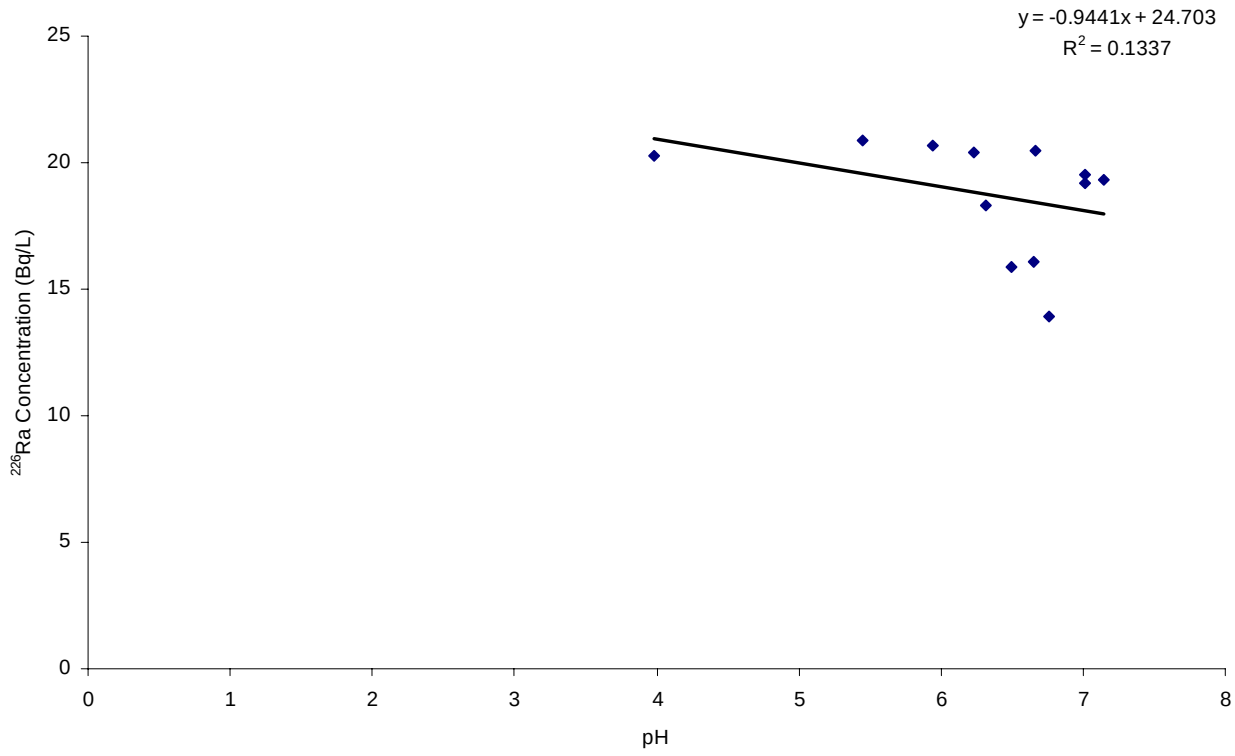
الشكل 42. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز الكالسيوم (حقل عطا الله)



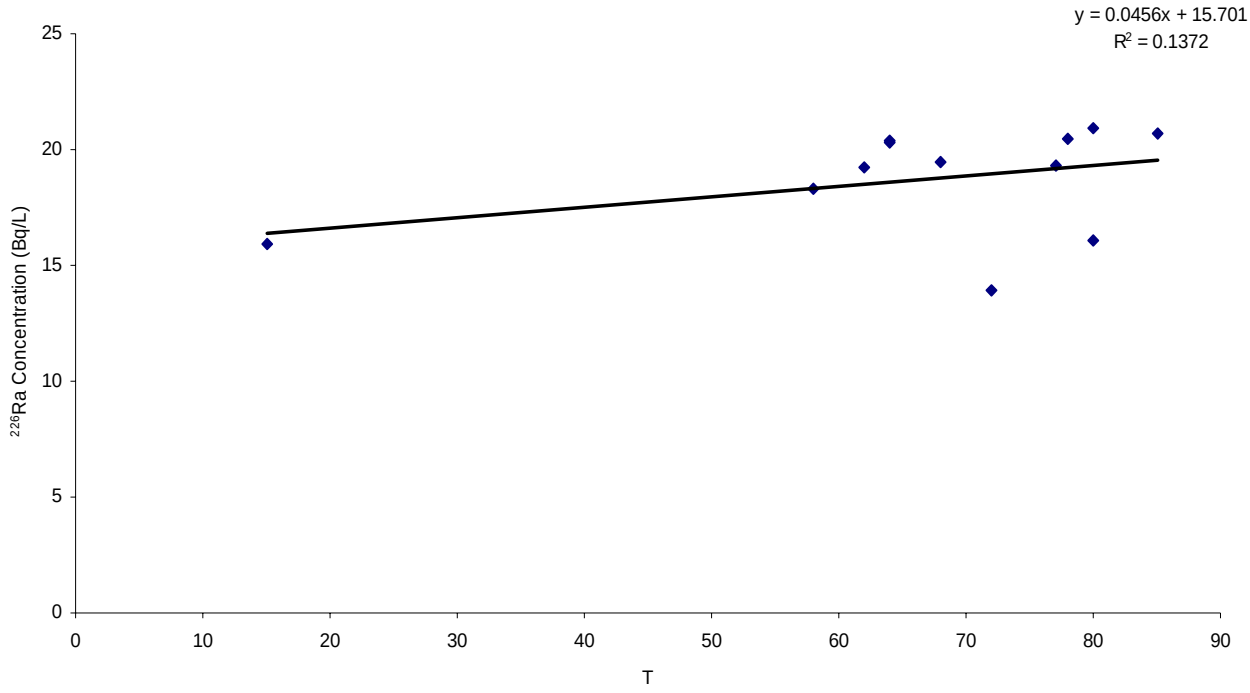
الشكل 43. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز السترونسيوم (حقل عطا الله)



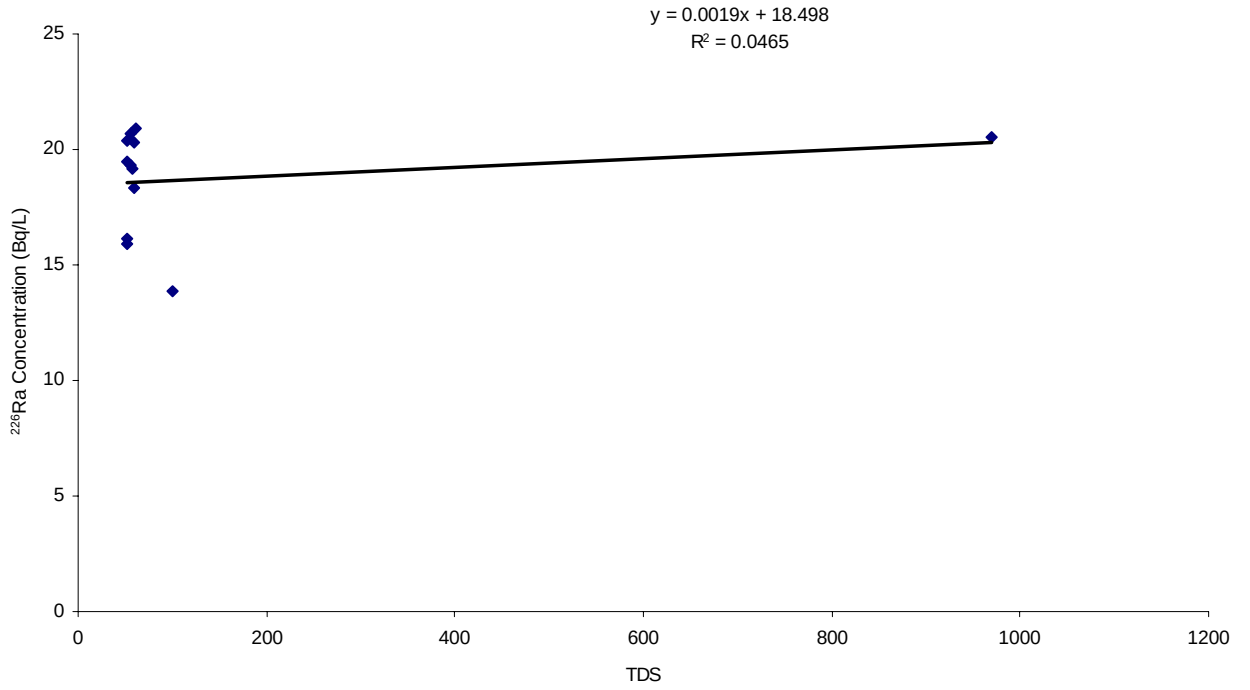
الشكل 44. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع نسبة المياه المنتجة (حقل القهار)



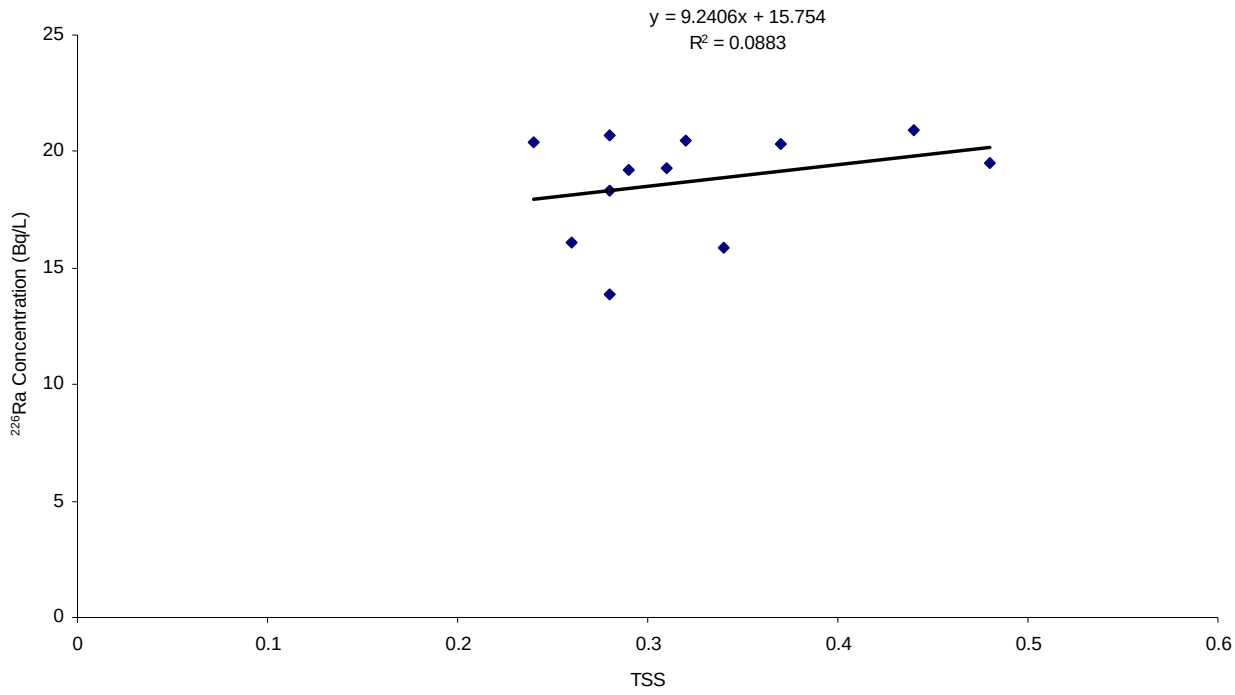
الشكل 45. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز pH (حقل القهار)



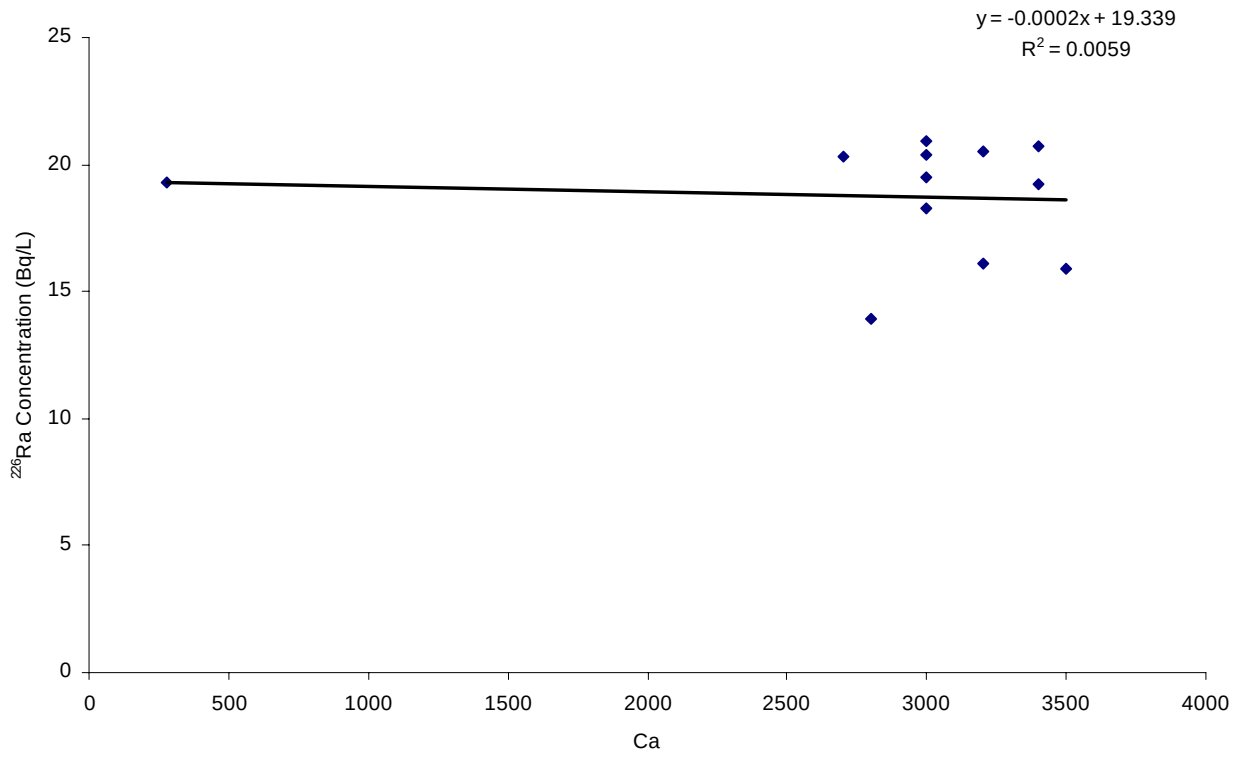
الشكل 46. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع درجة الحرارة (حقل الفهار)



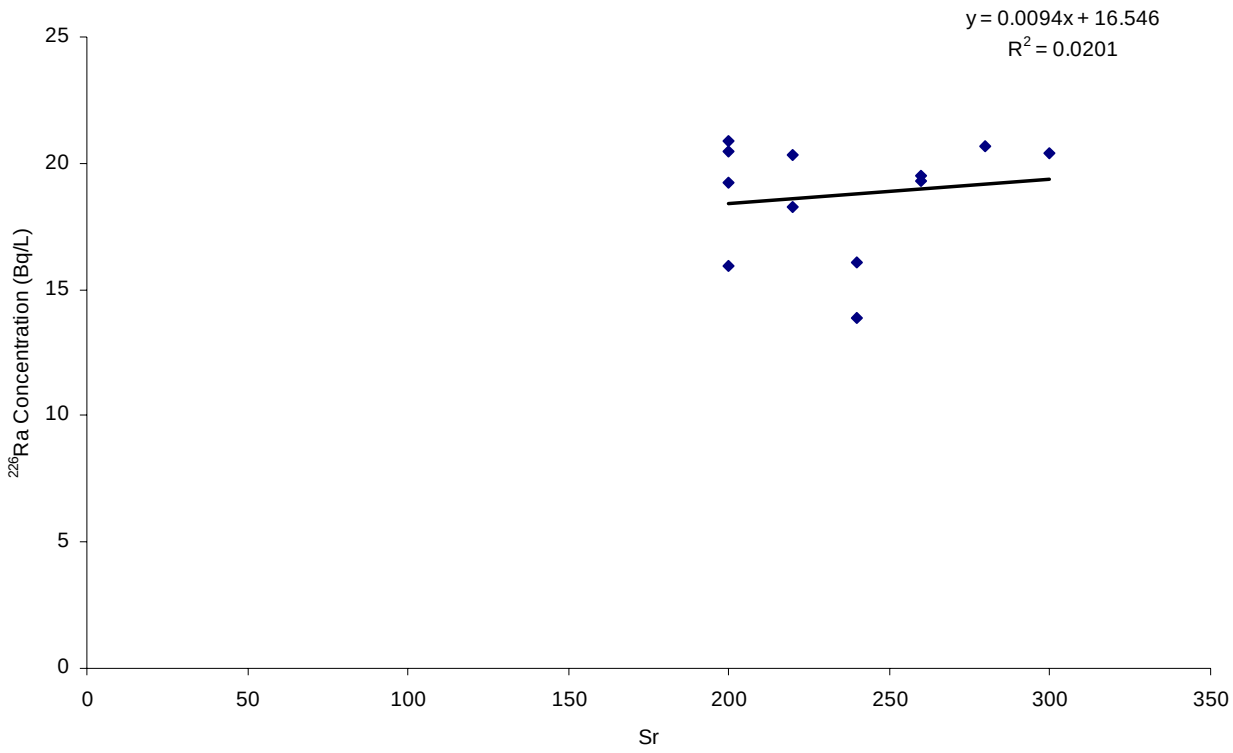
الشكل 47. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز TDS (حقل الفهار)



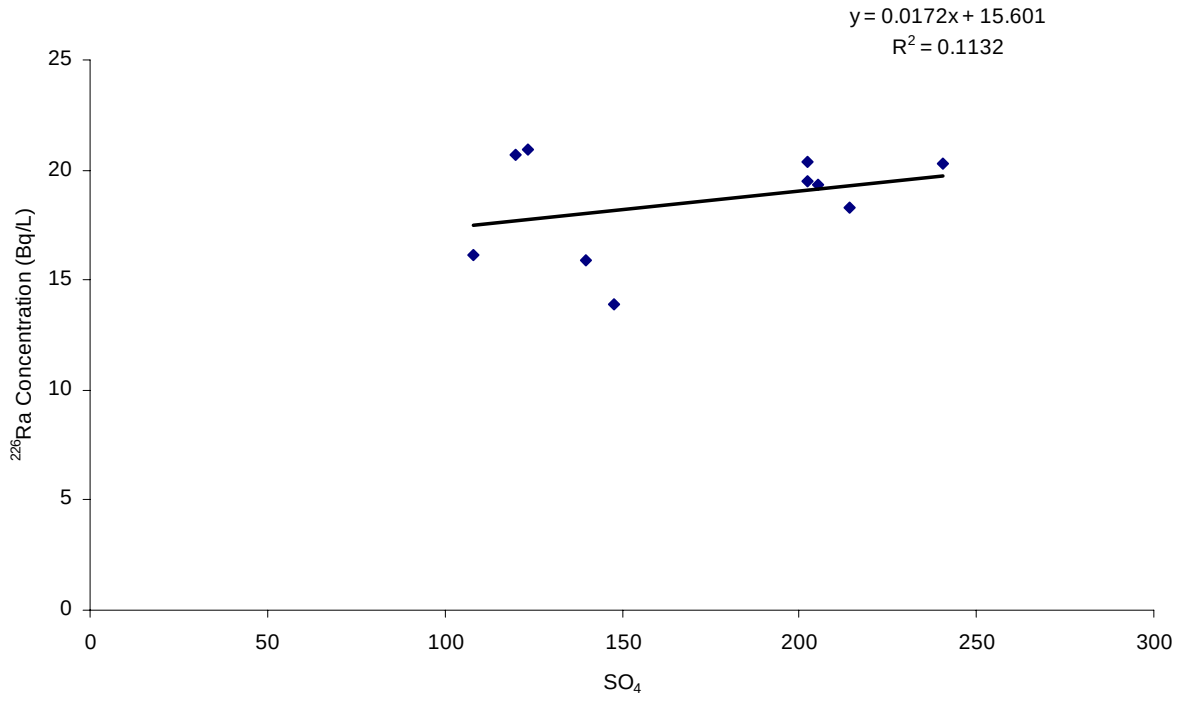
الشكل 48. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز TSS (حقل القهار)



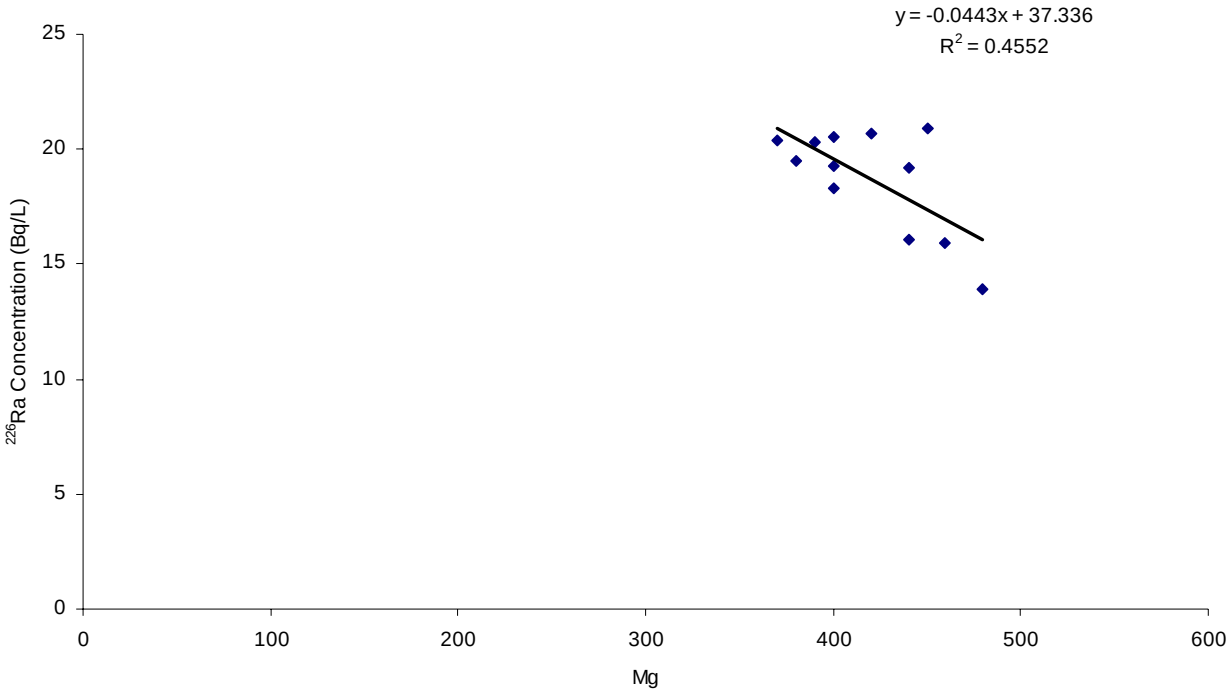
الشكل 49. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز الكالسيوم (حقل القهار)



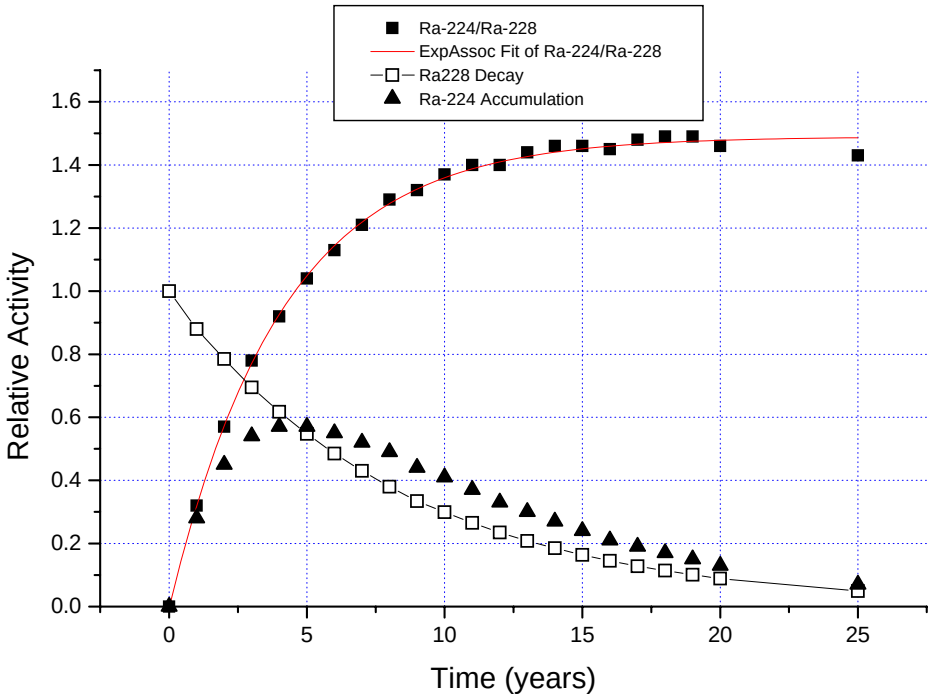
الشكل 50. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز السترونسيوم (حقل القهار)



الشكل 51. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز الكبريتات (حقل القهار)



الشكل 52. العلاقة بين تركيز الراديوم226 في المياه المرافقة مع تركيز المغنيزيوم (حقل القهار)



الشكل 53. تفكك الراديوم228 والراديوم224 ونموهما ونسبة النشاط $^{224}Ra/^{228}Ra$

الملاحق

نتائج قياسات بئر JAF101 **تاريخ استثماره** 1991

رقم العينة المخبري		15535	15568	16148	16159	16494
تاريخ القياس		15/05/04	05/06/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)		0.64	1.3	1.14	2.26	2.45
تعداد غاما (عدة/ثانية)		300	700	400	800	750
كمية الإنتاج		5050	4800	3700	3100	2900
نسبة المياه/النفط %		20	24	18	31	31
درجة الحرارة		65	62	70	64	70
درجة الحموضة		5.49	5.71	2.6	5.05	4.82
الأملاح المنحلة (غ/ل)		182.94	92.16	182.85	173.83	168.03
العوالق (غرام/ل)		0.97	2.21	1.52	0.82	1.90
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	CO_3^{--}	76.68	23.88	23.88	71.64	23.88
	HCO_3^-	207.8	233.8	121.4	242.8	194.2
	SO_4^{--}	236.3±15	170.7±7	250.4±12	366.9±18	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	Sr^{++}	560	360	500	500	520
	Ba^{++}	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	<0.45
	Mg^{+2}	1420	720	1350	1350	1320
	Ca^{+2}	13200	4800	8400	9000	9200
تركيز الراديوم224	بكرل/لتر	0.4±0.2	0.9±0.1	2.3±0.3	0.7±0.3	0.8±0.1
تركيز الراديوم226	بكرل/لتر	60.1±5.1	13.8±1.5	50.9±5.8	48.9±7.0	40.3±3.2
تركيز الراديوم228	بكرل/لتر	42.7±3.1	12.4±0.9	31.1±2.7	31.5±3.2	27.4±1.9

نتائج قياسات بئر JAF102 **تاريخ استثماره** 1992

رقم العينة المخبري	15536	15569	15641	16149	16160	16495
تاريخ القياس	15/05/04	05/06/04	01/07/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)	4	3.8	4.7	4.21	4.15	4.52
تعداد غاما (عدة/ثانية)	2000	1800	2000	2100	2200	2000
كمية الإنتاج	3600	3500	3400	3400	2300	2400
نسبة المياه/النفط %	32	36	39	40	36	35
درجة الحرارة	80	82	82	84	82	83
درجة الحموضة	5.41	5.26	5.24	4.09	5.05	5.27
الأملاح المنحلة (غ/ل)	131.96	157.20	174.05	175.2.51	172.37	165.45
العوالق (غرام/ل)	1.64	0.63	0.54	1.32	1.17	1.27
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	CO_3^{--}	51.12	25.56	<DL	4.77	<DL	47.76
	HCO_3^-	207.8	181.9	103.9	98.3	97.1	98.3
	SO_4^{--}	219.3±14	205.9±8	204.8±12	300±14	206.2±10	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	Sr^{++}	720	640	360	520	600	600
	Ba^{++}	≤0.45	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	≤0.45
	Mg^{+2}	1400	1280	720	1260	1330	1320
	Ca^{+2}	9600	8400	4800	7800	8500	8800
تركيز الراديوم224 بكرل/لتر	0.4±0.2	0.7±0.1	0.9±0.3	2.3±0.3	0.9±0.3	<1.2
تركيز الراديوم226 بكرل/لتر	74.5±6.5	74.4±6.8	59.7±6.3	77.6±7.2	56.5±6.4	65.7±10.8
تركيز الراديوم228 بكرل/لتر	41.5±3.1	38.9±2.8	31.1±2.8	39.8±3.3	33.7±3.1	34.6±4.3

نتائج قياسات بئر JAF104 **تاريخ استثماره** 1994

رقم العينة المخبري	15537	15570	15642	16150	16161	16496
تاريخ القياس	15/05/04	05/06/04	01/07/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)	0.08	0.08	0.06	0.06	0.07	0.06
تعداد غاما (عدة/ثانية)	50	40	50	40	40	40
كمية الإنتاج	3500	3300	2600	4100	3500	3500
نسبة المياه/النفط %	11	12	28	18	18	20
درجة الحرارة	73	76	73	79	78	81
درجة الحموضة	5.18	5.65	5.46	5.73	5.79	5.15
الأملاح المنحلة (غ/ل)	54.53	112.43	103.57	137.67	139.08	124.64
العوالق (غرام/ل)	1.56	0.37	0.21	0.96	0.83	0.72
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	CO_3^{--}	76.68	51.12	25.56	95.52	47.76	4.77
	HCO_3^-	259.8	233.8	259.9	437.00	242.8	242.8
	SO_4^{--}	200.9±13	180.2±7	198.5±12	172.8±8	198.5±10	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	Sr^{++}	480	380	640	360	430	340
	Ba^{++}	≤0.45	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	≤0.45
	Mg^{+2}	960	840	1280	990	1000	840
	Ca^{+2}	7400	5600	8400	5930	7000	6400
تركيز الراديوم224 بكرل/لتر	0.6±0.1	1.0±0.1	1.3±0.3	2.7±0.2	0.6±0.1	0.8±0.1
تركيز الراديوم226 بكرل/لتر	40.5±4.0	52.4±4.7	39.9±5.4	46.3±4.6	52.0±4.5	23.8±2.4
تركيز الراديوم228 بكرل/لتر	43.2±3.2	56.3±4.0	38.4±3.4	45.7±3.3	45.0±3.3	23.6±1.8±

نتائج قياسات بئر JAF105 **تاريخ استثماره** 1994

رقم العينة المخبري	15538	15571	15643	16151	16162	16497
تاريخ القياس	15/05/04	05/06/04	01/07/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)	1.45	1.6	1.42	1.6	0.55	1.38
تعداد غاما (عدة/ثانية)	700	500	600	500	500	700
كمية الإنتاج	3100	3000	2900	3600	2500	2400
نسبة المياه/النفط %	38	37	37	24	28	28
درجة الحرارة	75	77	76	77	78	77
درجة الحموضة	5.85	5.75	5.53	4.42	5.84	6.69
الأملاح المنحلة (غ/ل)	124.73	117.77	120.11	136.99	125.8	120.16
العوالق (غرام/ل)	0.65	0.85	0.63	1.24	0.82	0.65
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	CO_3^{--}	51.12	25.56	<DL	23.88	47.76	23.88
	HCO_3^-	155.9	181.9	155.9	291.3	194.2	242.8
	SO_4^{--}	173.1±11	146.2±6	183.4±11	200.6±10	185±10	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	Sr^{++}	460	440	380	360	400	370
	Ba^{++}	≤0.45	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	≤0.45
	Mg^{+2}	1070	1000	840	1070	-	1040
	Ca^{+2}	6800	6400	5600	6000	3000	7400
تركيز الراديوم224 بكرل/لتر	0.4±0.1	0.5±0.1	1.1±0.3	1.6±0.2	0.4±0.1	0.3±0.1
تركيز الراديوم226 بكرل/لتر	27.5±2.7	28.4±2.9	30.8±4.8	28.3±2.9	31.1±3.2	28±2.6
تركيز الراديوم228 بكرل/لتر	26.7±1.9	27.5±2.1	29.6±2.8	26.3±2.0	29.4±2.2	25.2±1.9

نتائج قياسات بئر JAF109 **تاريخ استثماره** 1998

رقم العينة المخبري	15539	15572	15644	16152	16163	16498
تاريخ القياس	15/05/04	05/06/04	01/07/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)	12.4	18.6	16.4	18	16.8	19.7
تعداد غاما (عدة/ثانية)	5500	8000	7000	7500	7500	7000
كمية الإنتاج	4950	5000	6000	5900	3600	3600
نسبة المياه/النفط %	20	30	30	30	39	38
درجة الحرارة	88	90	78	92	90	89
درجة الحموضة	5.47	5.26	5.36	4.92	5.39	5.27
الأملاح المنحلة (غ/ل)	172.97	167.91	116.14	172.89	175.92	168.55
العوالق (غرام/ل)	1.09	2.24	0.48	1.56	0.87	0.94
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	51.12	25.56	<DL	23.88	71.64	<DL
	233.8	207.8	129.9	194.2	194.2	437.00
	232.1±15	246.5±10	202.7±12	174.1±8	222±1	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	660	640	440	460	550	540
	≤0.45	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	≤0.45
	2480	1320	1000	1260	1380	1320
	10400	9200	6400	8400	9250	9200
تركيز الراديوم224 بكرل/لتر	0.6±0.1	1.3±0.1	0.8±0.2	1.7±0.1	0.8±0.4	0.4±0.1
تركيز الراديوم226 بكرل/لتر	45.2±4.3	30.6±3.2	20.9±3.9	32.2±3.0	41.9±7.4	41.7±4.1
تركيز الراديوم228 بكرل/لتر	48.7±3.5	31.2±2.3	23.3±2.3	31.1±2.3	41.1±4.3	41.2±3.1

رقم العينة المخبري		15540	15573	16153	16164	16499
تاريخ القياس		15/05/04	05/06/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)		0.61	0.50	0.61	0.82	0.67
تعداد غاما (عدة/ثانية)		300	250	300	350	300
كمية الإنتاج		7400	7200	7100	6000	5700
نسبة المياه/النفط %		10	10	11	11.5	14
درجة الحرارة		75	85	85	85	86
درجة الحموضة		6.07	5.55	4.91	-	5.52
الأملاح المنحلة (غ/ل)		164	148.55	179.77	167.88	165.09
العوالق (غرام/ل)		1.31	0.49	1.20	0.44	1.07
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	CO_3^{--}	127.8	51.12	23.88	< DL	23.88
	HCO_3^-	285.8	285.8	437.00	485.6	242.8
	SO_4^{--}	293.3±19	215±9	290.9±14	676±34	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	Sr^{++}	620	580	520	550	500
	Ba^{++}	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	≤0.45
	Mg^{+2}	1160	1200	1170	1000	1000
	Ca^{+2}	16000	8400	7800	7500	7600
تركيز الراديوم224	بكرل/لتر	<0.2	3.7±0.3	1.8±0.6	2.0±0.6	0.7±0.3
تركيز الراديوم226	بكرل/لتر	85.7±7.4	33±5	111.2±13.5	70.5±10.8	66.2±8.2
تركيز الراديوم228	بكرل/لتر	39±2.8	30.3±2.7	45.3±4.1	30.8±3.9	30.2±3.0

نتائج قياسات بئر JAF111 تاريخ استثماره 2003

رقم العينة المخبري		15541	15574	15645	16154	16165	16500
تاريخ القياس		15/05/04	05/06/04	01/07/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)		0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.07
تعداد غاما (عدة/ثانية)		50	40	40	40	40	40
كمية الإنتاج		4000	3500	3400	1850	2900	3200
نسبة المياه/النفط %		12	12	11	17	13	16
درجة الحرارة		71	69	74	74	68	70
درجة الحموضة		5.37	5.34	5.27	5.62	5.53	5.44
الأملاح المنحلة (غ/ل)		164.07	167.59	161.69	177.1	248.27	163.75
العوالق (غرام/ل)		1.51	0.61	0.64	1.01	1.11	0.91
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	CO_3^{--}	76.68	127.8	<DL	4.77	47.76	23.88
	HCO_3^-	259.8	233.8	51.9	242.8	169.9	291.3
	SO_4^{--}	279.3±18	306.5±12	256±15	233.2±11	431±21	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	Sr^{++}	680	600	240	520	550	550
	Ba^{++}	≤0.45	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	<0.45
	Mg^{+2}	1350	1280	440	1320	2150	1200
	Ca^{+2}	11200	9200	3200	9600	14000	8800
تركيز الراديوم224 بكرل/لتر		1.2±0.2	1.5±0.2	1.7±0.2	1.0±0.2	0.7±0.1	<1.3
تركيز الراديوم226 بكرل/لتر		82±7.4	86.9±8.2	80.1±6.6	93.3±8.5	21.2±2.3	80.0±11.5
تركيز الراديوم228 بكرل/لتر		59.4±4.4	64.7±4.7	62.4±4.4	67.4±4.9	17.3±1.4	55.9±6.1

نتائج قياسات بئر حقن JAF503-JAF507 **تاريخ**

استثماره 1997

رقم العينة المخبري		15542	15575	15646	16155	16166	16501
تاريخ القياس		15/05/04	05/06/04	01/07/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)		0.08	0.07	0.07	0.09	0.10	0.08
تعداد غاما (عدة/ثانية)		50	30	40	40	200	50
كمية الإنتاج		-	-	-	-	-	-
نسبة المياه/النفط %		-	-	-	-	-	-
درجة الحرارة		45	45	55	60	73	50
درجة الحموضة		6.13	5.93	5.89	5.72	6.43	6.31
الأملاح المنحلة (غ/ل)		40.22	56.65	89.17	115.69	68.27	67.22
العوالق (غرام/ل)		0.32	0.17	0.33	0.78	0.26	0.39
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	CO_3^{--}	76.68	76.68	<DL	71.64	23.88	23.88
	HCO_3^-	155.9	207.8	103.9	145.7	291.3	242.8
	SO_4^{--}	114.9±7	207.2±8	165.5±10	196.1±9	124.8±6	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	Sr^{++}	140	200	320	300	200	200
	Ba^{++}	≤0.45	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	≤0.45
	Mg^{+2}	400	440	680	900	560	560
	Ca^{+2}	2000	3300	5600	5100	3500	4080
تركيز الراديوم224 بكرل/لتر		0.1±0.1	0.6±0.1	0.8±0.3	1.0±0.3	0.4±0.1	0.3±0.1
تركيز الراديوم226 بكرل/لتر		13.3±1.7	19.8±2.2	35.9±4.7	35.3±5.4	22.2±2.4	20.5±2.0
تركيز الراديوم228 بكرل/لتر		10.6±0.9	16.2±1.3	24.9±2.4	26.0±2.7	15.4±1.2	15.5±1.1

رقم العينة المخبري	15543	15576	15647	16156	16167	16502	
تاريخ القياس	15/05/04	05/06/04	01/07/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04	
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)	0.18	0.26	0.45	0.42	0.64	0.46	
تعداد غاما (عدة/ثانية)	100	130	200	200	220	200	
كمية الإنتاج	1800	1700	1700	1800	1400	1200	
نسبة المياه/النفط %	25	25	25	25	29	32	
درجة الحرارة	70	70	72	70	78	74	
درجة الحموضة	4.39	5.10	4.88	2.82	4.98	2.61	
الأملاح المنحلة (غ/ل)	293.14	281.07	271.12	306.37	290.11	301.44	
العوالق (غرام/ل)	1.72	0.87	0.87	2.12	1.12	0.72	
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	25.56	< L.D	< L.D	< L.D	71.64	<DL	CO_3^{--}
	103.9	< L.D	51.9	145.7	267.05	97.11	HCO_3^-
	243.7±16	101.4±4	216.5±13	305.3±15	404.9±20	-	SO_4^{--}
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	470	460	500	400	450	400	Sr^{++}
	≤0.45	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	≤0.45	Ba^{++}
	2780	2480	2640	2670	2900	2640	Mg^{+2}
	32000	16800	18400	8400	1850	16200	Ca^{+2}
تركيز الراديوم224 بكرل/لتر	1.5±0.5	0.7±0.1	1.1±0.2	1.0±0.3	0.6±0.3	0.7±0.1	
تركيز الراديوم226 بكرل/لتر	58±8	47.5±4.6	49.2±4.7	42.9±6.1	38.5±5.5	9.9±1.2	
تركيز الراديوم228 بكرل/لتر	50.5±4	43.6±3.2	40.2±3.0	34.9±3.2	31.9±3.1	8.8±0.7	

رقم العينة المخبري	15544	15577	15648	16157	16168	16503
تاريخ القياس	15/05/04	05/06/04	01/07/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)	0.34	0.37	0.42	0.65	0.43	0.55
تعداد غاما (عدة/ثانية)	220	200	220	250	200	220
كمية الإنتاج	1900	2300	2000	1900	500	500
نسبة المياه/النفط %	75	75	75	75	79	74
درجة الحرارة	72	80	85	80	15	78
درجة الحموضة	6.76	6.65	5.94	5.45	6.50	6.67
الأملاح المنحلة (غ/ل)	99.69	52.92	54.95	61.52	51.29	970.3
العوالق (غرام/ل)	0.28	0.26	0.28	0.44	0.34	0.32
تركيز الأنيونات ملغ/لتر CO_3^{--}	127.8	102.24	25.56	23.88	23.88	<DL
تركيز الأنيونات ملغ/لتر HCO_3^-	259.8	181.9	168.9	291.3	339.9	291.3
تركيز الأنيونات ملغ/لتر SO_4^{--}	147.7±9	107.9±4	119.8±7	123.3±6	139.7±7	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر Sr^{++}	240	240	280	200	200	200
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر Ba^{++}	≤0.45	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	≤0.45
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر Mg^{+2}	480	440	420	450	460	400
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر Ca^{+2}	2800	3200	3400	3000	3500	3200
تركيز الراديوم224 بكرل/لتر	0.4±0.1	0.8±0.1	1.0±0.2	0.6±0.1	0.6±0.2	0.5±0.1
تركيز الراديوم226 بكرل/لتر	13.9±1.7	16.1±2.0	20.7±3.8	20.9±2.3	15.9±3.5	20.5±2.3
تركيز الراديوم228 بكرل/لتر	23.1±1.7	21.7±1.7	24.0±2.3	27.6±2.1	20.7±2.2	30.0±2.2

رقم العينة المخبري		15545	15578	15649	16158	16169	16504
تاريخ القياس		15/05/04	05/06/04	01/07/04	24/07/04	21/08/04	30/09/04
معدل الجرعة (ميكروسيفرت/ساعة)		10.8	10.6	11	10.7	11.1	10.2
تعداد غاما (عدة/ثانية)		5000	4200	5000	4800	5000	4700
كمية الإنتاج		1100	900	800	850	500	300
نسبة المياه/النفط %		28	33	30	30	39	40
درجة الحرارة		77	68	64	64	58	62
درجة الحموضة		7.15	7.01	6.23	3.98	6.31	7.01
الأملاح المنحلة (غ/ل)		55.86	52.86	52.82	59.29	58.85	56.69
العوالق (غرام/ل)		0.31	0.48	0.24	0.37	0.28	0.29
تركيز الأنيونات ملغ/لتر	CO_3^{--}	76.68	102.24	25.56	47.76	47.76	47.76
	HCO_3^-	337.8	285.8	233.8	437.00	267	315.6
	SO_4^{--}	205.3±13	202.4±8	202.1±12	240.4±11	214±11	-
تركيز الكاتيونات ملغ/لتر	Sr^{++}	260	260	300	220	220	200
	Ba^{++}	≤0.45	≤0.45	≤0.45	< 0.45	< 0.45	≤0.45
	Mg^{+2}	400	380	370	390	400	440
	Ca^{+2}	280	3000	3000	2700	3000	3400
تركيز الراديوم224 بكرل/لتر		1.2±0.3	1.9±3.3	2.3±0.3	1.0±0.1	1.3±0.2	0.4±0.1
تركيز الراديوم226 بكرل/لتر		19.3±3.7	19.5±4.0	20.4±3.6	20.3±2.2	18.3±2.4	19.2±2.2
تركيز الراديوم228 بكرل/لتر		52±3.8	57.5±4.6	46.7±3.8	56.7±4.0	48.0±3.5	25.5±1.9