الفصل الخامس
المواد الطبيعية المشعة في صناعة النفط و الغاز
(NORM)

obeikandl.com

٥ – ١ مقدمة

عند طرح المواد المشعة الطبيعية بشكل رواسب صلبة او في بحيرات تجميع المياه المرافقة لعملية استخراج النفط والغاز دون معالجة، فإنها تسبب مشاكل صحية و بيئية، من خلال تعرض العاملين خلال عملهم بالقرب من المعدات الحاوية للرواسب الصلبة جرعة إشعاعية خارجية ناجمة عن بواعث أشعة جاما التي يمكن أن تخترق الأنابيب والأوعية الحديدية. و تعتبر هذه الجرعة اقل خطرا من جرع التعرض الإشعاعي الداخلي، التي يمكن أن يتلقاها العاملون خلال عمليات صيانة و تنظيف المعدات و الأنابيب والخزانات الحاوية على ترسبات المواد المشعة الطبيعية وذلك لاحتمال دخول الجزيئات الحاملة للمواد المشعة إلى أجسامهم عن طريق الابتلاع ،الاستنشاق ،وعن طريق الجروح.

ظاهرة تكوُّن الرواسب تم دراستها من قبل كثير من الباحثين، لما تسببه من خفض في كفاءة عمل المعدات، نتيجة تراكم والتصاق الرواسب على المعدات ، و هذا ما يدعو إلى تنظيفها بين الفينة والأخرى باستخدام طرائق كيميائية و فيزيائية عديدة للحيلولة دون تكوّن هذه الرواسب.

بدأت دراسة موضوع المواد المشعة الطبيعية الناتجة عن صناعة النفط والغاز منذ عام 1904 في كندا لأول مرة ثُم ظهرت دراسات كثيرة في الاتحاد السوفيتي السابق و ألمانيا في العشرينيات. و في بداية الثلاثينيات ظهرت دراسات كثيرة في الولايات المتحدة الأمريكية نتيجة ظهور مشكلة التخلص من مخلفات هذه الصناعة الحاوية لمثل هذه المواد (رواسب صلبة، وحل، مياه مرافقة) و وقاية العاملين و البيئة من الأخطار التي تنجم عن أعمال تنظيف المضخات، الخزانات، الأنابيب ،و المعدات الأخرى المستخدمة.ثم ازداد اهتمام شركات النفط في العالم في الآونة الأخيرة (منذ عام ١٩٨١) بعد أن كُشِف وجودها في آبار اسكتلنده في بحر الشمال بالمواد المشعة

الطبيعية المرافقة للنفط، ، وبعد ذلك ظهرت دراسات كثيرة حول الموضوع وبشكل تفصيلي خلال العقود الماضية.

٥ –٢ المواد المشعة الطبيعية في صناعة النفط و الغاز :

يرمزا لمصطلح NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials) المستخدم في صناعة النفط و الغاز إلى المواد المشعة الطبيعية. و تسمى بعض الأحيان المواد المشعة الطبيعية التي جرى تركيزها تكنولوجياً بفعل الإنسان (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials) TENORM.

النويدات المشعة التي تم تشخيصها وقياسها في دفق الغاز والنفط هي نواتج تحلل السلسلتين الطبيعيتين للعناصر المشعة الأرضية وهي U^{238} وTh^{232}. تمتاز هذه السلاسل بعمر بنصفها الطويل وتواجدها في التربة بنسب تعتمد على التركيب الجيولوجي لتلك الأرض.

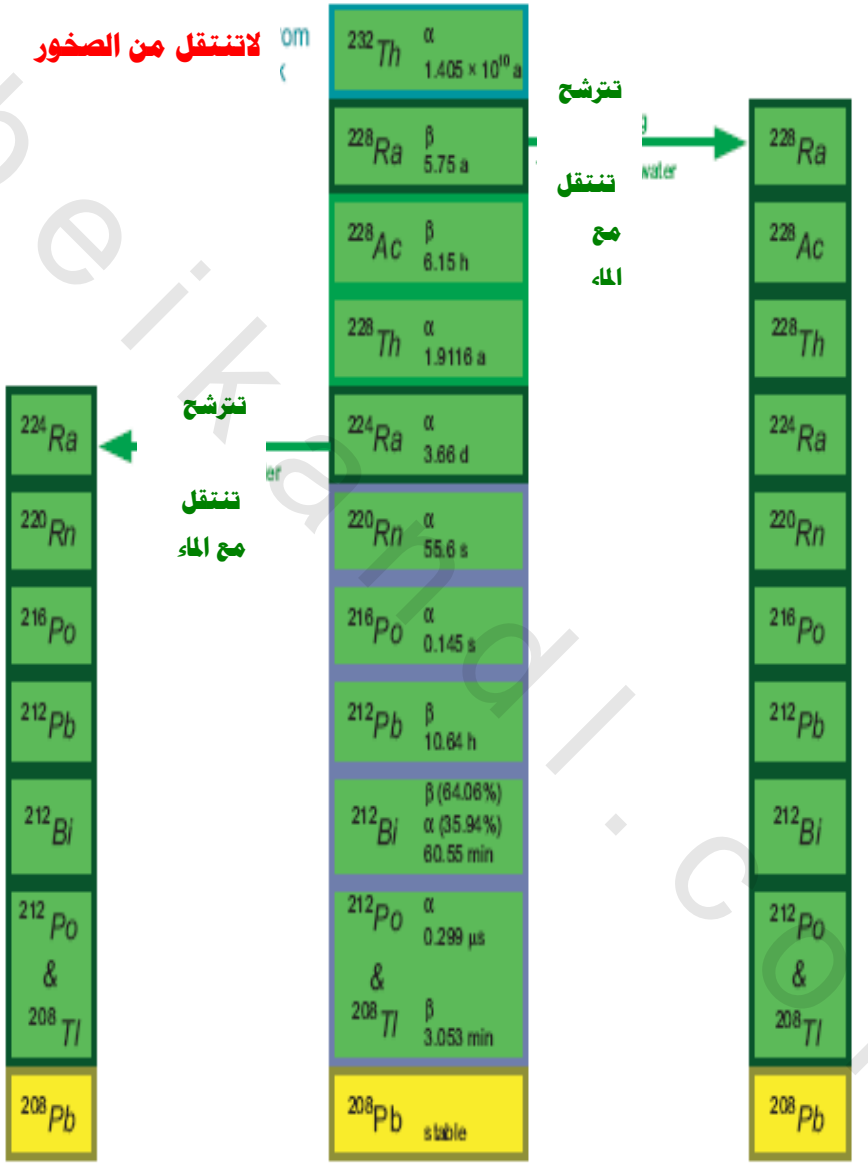
توجد المواد المشعة الطبيعية في مكامن النفط و الغاز الأخرى، بتراكيز متباينة، و تخرج هذه المواد مع سوائل الإنتاج خلال عمليات الاستخراج .ولكن تحاليل العناصر المشعة طبيعياً باستخدام طريقة تحليل اطياف حاما في كثير من حقول النفط والغاز بينت بأن المواد الصلبة الموجودة في كميات النفط والغاز في مستودعاتها العميقة أو على السطح لا تحتوي على العناصر المشعة(U^{238} وTh^{232}) ،وذلك لان هذه العناصر لا تنتقل من صخور الآبار النفطية أو الماء المتولد كناتج عرضي لاكتشاف النفط والغاز الذي يحتوي على المجموعة الثانية (II) من الجدول الدوري والتي تتكون من الايونات السالبة (cations)

شكل (٥ –٣) مخطط انحلال سلسلة اليورانيوم – ٢٣٨

لكل من الكالسيوم، السترونتيوم، الباريوم، والراديوم المذابة من صخور الآبار ونتيجة لذلك يتولد ماء يحتوى علي نظير Ra^{226} الناتج عن تحلل سلسلة اليورانيوم-٢٣٨ شكل (٥- ١)

وكذلك Ra^{228} و Ra^{224} الناتجة عن تحلل سلسلة الثوريوم Th^{232} شكل (٥- ٢).

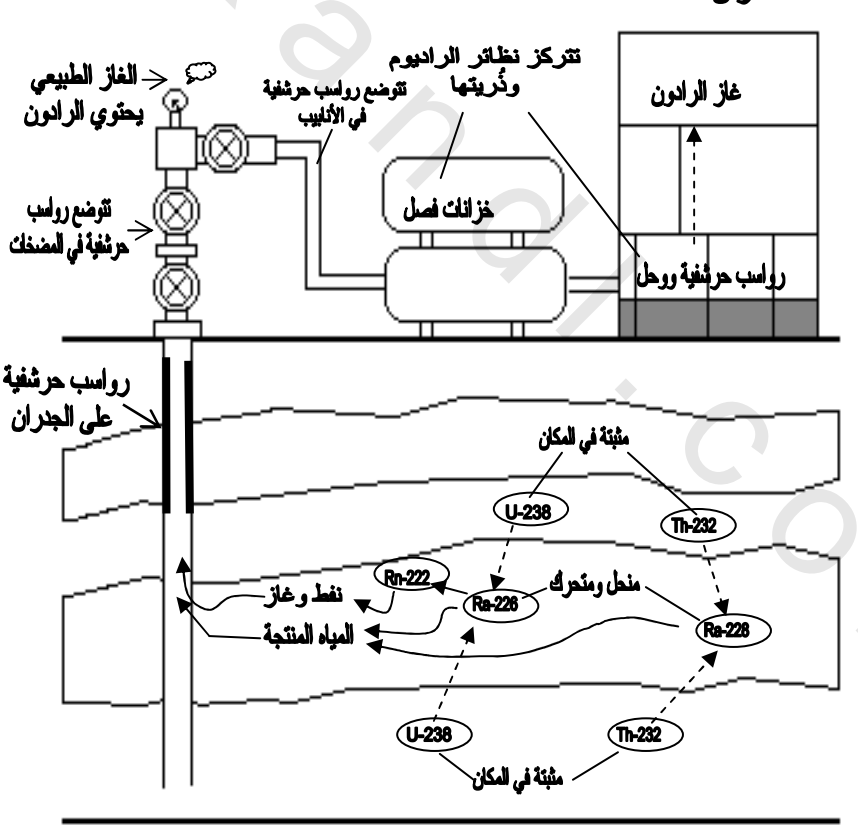
شكل (٥- ٢) مخطط انحلال سلسلة الثوريوم - ٢٣٢



obeikandl.com

لذلك فان النظائر الثلاث للراديوم فقط تظهر في الماء الناتج عرضيا من للـــنفط أو الغـــاز وتسمى هذه النظائر غير المسندة (unsupported) لان نظائر السلسلة الأصلية الأولـــى U^{238}و Th^{232}و Th^{228} تبقى في البئر.إن النظير المشع للثوريوم -228 يكشف عنة بعـــض الأحيان في الأطيان والترسبات القديمة وينتج عن انحلال Ra^{228} المتحرك عنـــدما تكـــون ايونات عناصر المجموعة 11 من الجدول الدوري والتي تشمل الراديوم في الماء المتولـــد في البئر. يؤدي انخفاض الضغط ودرجة إلى تعدي قابليـــة الـــذوبان لمـــزيج الكبريتـــات والكربونات والذي يؤدي الى ترسبها بشكل مركبات صلبة من الكبريتات والكربونات فـــي الأنابيب، الصمامات ،المضخات ،الفاصلات،الخزانات وأوعية معاملات الماء والغاز كمـــا في الشكل (٥- ٣)

الشكل (٥- ٣)أماكن وجود المواد المشعة الطبيعية في صناعة النفط



و يلاحظ من الشكل أن منشأ الراديوم ٢٢٦، و الراديوم٢٢٨ و غاز الرادون هو من النظائر المشعة الأم وهي اليورانيوم ٢٣٨ أو الثوريوم ٢٣٢، الموجودة في المكامن الجيولوجية تحت الأرض، و التي توجد بكميات كبيرة نسبياً في الصخور الطينية. و لما كان كل من اليورانيوم و الثوريوم جزءاً من هذه الصخور فهي غير مذابة بدرجة كبيرة في سوائل الحوض والتي تحتوي على مياه عذبة و مالحة ، نفط، وغاز. أما الراديوم فيكون مذابا في الماء وقابلاً للحركة فهو ينتقل من هذه المكامن إلى سطح الأرض مع الماء المرافق للنفط. و تعتمد كمية الراديوم الموجودة في المياه المنتجة و المرافقة للنفط، على طبيعة وكمية هذه الصخور ومحتواها من اليورانيوم و الثوريوم، إضافة إلى الشروط الفيزيائية والكيميائية مثل الضغط و الحرارة و الحامضية (PH).

تنتقل السوائل من البئر إلى معدات الإنتاج على السطح. وتنتقل خلال عمليات المعالجة المختلفة وخلال عملية الانتقال، تتغير الخواص الفيزيائية (الضغط و الحرارة، ...) والكيميائية لسوائل الإنتاج. تؤدي هذه التغيرات إلى انخفاض ذوبان الراديوم و العناصر الأخرى المشابهة كيميائياً كالكالسيوم و السترونسيوم و الباريوم، فترسب لتكوِّن رواسب صلبة أو وحلاً. تتشارك العناصر المشعة مع العناصر غير المشعة الموجودة في الطور المائي في تكوين هذه الرواسب في الأنابيب (ترسب الراديوم مع كبريتات الباريوم) أو الترسب مع الوحل، و تبقى عادة كميات ضئيلة من العناصر المشعة مع النفط و المياه المرافقة. يبقى الوحل والرواسب الصلبة داخل معدات استخراج النفط و الغاز، مثل خطوط النقل و خزانات الفصل و خزانات المعالجة الحرارية و المياه المالحة. و يستثنى من ذلك غاز الرادون الذي يمكن أن يكون منحلاً في المياه المرافقة والذي يتحرر إلى الجو بعد عملية الفصل. و يبقى غاز الرادون أيضاً مع الغاز الطبيعي المرافق فتتراكم نواتج انحلاله في تجهيزات معالجة الغاز مثل مرشحات الدخول و مضخات إعادة الضخ.

تترسب المواد المشعة الطبيعية في مكونات كثيرة منها الفتحة السفلية لأنبوب النفط داخل البئر، المعدات المركبة على سطح الأرض و معدات الإنتاج كمعدات تمرير المياه، الخزانات، مناطق رشح المياه المالحة، و كذلك على سطح البئر. يؤدي تراكم المواد المشعة الطبيعية إلى ارتفاع المستويات الإشعاعية الطبيعية والتي تأثر على العاملين بجرع تعرض خارجية أو داخلية.

غاز الرادون مختلف بعض الشيء عن نظائر الراديوم، التي تلتصق ملتصقة بالرواسب و الوحل، لانة غازاً خامل في درجة الحرارة و الضغط النظاميين، و هو يتحلل بعمر نصف قصير. وتبقى وليداتة في الشبكة البلورية للرواسب الصلبة و الوحل تماما، و الذي يؤدي الى زيادة في مستوى أشعة جاما الصادرة من هذه الرواسب، لوجود الرصاص ٢١٤ والبزموت ٢١٤.

يؤدي تجمع غاز الرادون في الاوعية المغلقةٍ (خزانات الفصل) وبقاءة فترة من الزمن الى حصول حال التوازن الاشعاعي بينة وبين كل من الرصاص٢١٤ و البزموت٢١٤ و إذا ما تم إخراج غاز الرادون من الحاوية أو خزان التجميع من فتحات التهوية و ترك الباقي لبضع ساعات ليتفكك كلٌ من الرصاص٢١٤ و البزموت٢١٤،سوف يتفككان فيقل النشاط الاشعاعي ويمكن بعد ذلك الدخول الى الخزان دون التعرض لِغاز الرادون ووليداتة.

تقع نقطة غليان غاز الرادون بين نقطة غليان غاز الإيتان و غاز البروبان، فإنه ولوجود مستويات عالية من غاز الرادون في المضخات و الخزانات و خطوط الإنتاج المرافقة لمعالجة الايتان و البروبان في منشآت معالجة الغاز، أكثر منه في الأماكن الأخرى في خط إنتاج النفط. و معروف أنه يمكن أن توجد مستوَيات مرتفعة من الإشعاع في محطات إنتاج الغاز و خاصة عندما تخزن كميات كبيرة من الغاز أو تضغط.

لا تواجد المواد المشعة الطبيعية بنساط اشعاعي كبير في كل الآبار النفطية، و خاصة إذا لم يكن هناك حقن للمياه و إنتاج كميات كبيرة من المياه المنتجة، و لكن كقاعدة يمكن القول بأن ازدياد ترسب المواد المشعة الطبيعية يرافق استخدام حجوم كبيرة من المياه لرفع الضغط على النفط الخام لغرض اخراجة الى السطح، و هذا يؤدي إلى إنتاج حجوم كبيرة من المياه. على أية حال يمكن أن توجد هناك بعض الحالات الشاذة .ولقد قام بعض الباحثين السوريين بإجراء قياسات مستوى التعرض إلا شعاعي على سطح بعض المعدات و الأنابيب في عدد من الآبار السورية كما موضح في الجدول ٥ – ١ .

و فيه تُلاحظ ان التعرض الإشعاعي عند عدد من الآبار مرتفع نسبيا ويصل الى نحو ٢٣.٥ μSv\h. وهي جرعات مرتفعة لدى مقارنتها بالخلفية الطبيعية السورية والبالغة (٠.٠٩ μSv\h).

أما غاز الرادون فهو غازاً خاملاً في درجة الحرارة و الضغط النظاميين ويختلف عن نظائر الراديوم التي توجد ملتصقة بالرواسب الصلبة و الوحل، ولان عمر النصف له قصير فأنة لاينفذ تماما من الشبكة البلورية في الرواسب الصلبة و الوحل. لذا تبقى جميع نواتج انحلاله(بناته) المتتالية في الرواسب هذا ما يعطي زيادة في مستوى أشعة كما الصادرة من هذه الرواسب نتيجة لوجود الرصاص ٢١٤ والبزموت ٢١٤. و يفسر وجود هذين النظيرين جميع بواعث أشعة جاما المنبعثة من الرواسب الملوثة بالراديوم٢٢٦ تقريباً. يحصل توازن إشعاعي بين غاز الرادون مع الرصاص ٢١٤ و البزموت ٢١٤ عندما يتراكم الرادون في نظامٍ مغلقٍ كخزان الفصل او خزانات التجميع عدة أيام.

عند نفوذ غاز الرادون من الحاوية أو خزان التجميع من خلال فتحات التهوية فان الباقي من الغاز ينحل إلى كلٌّ من الرصاص– ٢١٤ و البزموت – ٢١٤ بعد فترة من الزمن. في منشآت معالجة الغاز توجد مستوَيات مرتفعة من الإشعاع و خاصة

عندما تخزن كميات كبيرة من الغاز أو تضغط في المضخات و الخزانات و خطوط الإنتاج المرافقة لمعالجة الإيثان و البروبان وذلك لان نقطة غليان غاز الرادون تقع بين نقطة غليان الغازين.

الجدول (٥ - ١ مستوى التعرض الإشعاعي في مواقع مختلفة من خط إنتاج النفط في دير الزور (سوريا)

الموقع	نقطة القياس	معدل التعرض الإشعاعي (مكروسيفرت/ساعة)
١	رأس العين (WE-106 Oil Well)	٢٣.٥
٢	خزان فصل (EW-106 Separator)	٢٠
٣	رأس البئر (EW-105 Oil Well)	١٢
٤	رأس البئر (WE-103 Oil Well)	١٤
٥	خزان فصل (WE-103 Separator)	١١
٦	خزان فصل (EW-104 Separator)	٤.٥
٧	خزان فصل (EW-101 Separator)	٣.٨
٨	خط نقل المياه (Water Line)	٦
٩	خط نقل النفط (Oil Line)	٢.٦
١٠	مشعب (H.P.Manifold)	١٠
١١	مشعب (L.P. Manifold)	٣
١٢	خط اختبار (Test Line)	٢.٢
١٣	منطقة المشعب (Manifold Area)	٠.٥

.تم قياس تركيز المواد المشعة الطبيعية في الرواسب الصلبة و الوحل و المياه المرافقة،في مناطق كثيرة من العالم والتي جرى قياسها في العالم، يوضح الجدول (٥ -٢) قسما من هذه التراكيز.

النظير المشع	النفط الخام (بكرل/غم)	الغاز الطبيعي (بكرل/م^3)	المياه المنتجة (بكرل/لتر)	*الرواسب الصلبة* (بكرل/غم)
^{238}U	0.000001 – 0.01	-	0.0003 – 0.1	0.001 – 0.5
^{226}Ra	0.0001 – 0.04	-	0.002	0.1 – 15000
^{210}Pb	-	0.005 – 0.02	0.05 – 190	0.02 – 75
^{210}Po	0 – 0.01	0.002 – 0.08	-	0.02 – 1.5
^{232}Th	0.0003 – 0.002	-	0.0003 – 0.001	0.001 – 0.002
^{228}Ra	-	-	0.3 – 180	0.05 – 2800
^{222}Rn	-	5 – 200000	-	-

الجدول (٥- ٢) تركيز المواد المشعة الطبيعية في الرواسب والوحل والمياه المنتجة

و يلاحظ أن تركيزها يفوق كثيراً تلك الموجودة في الطبيعة ، لهذا تسمى أحيانا مثل هذه المواد بالمواد المشعة الطبيعية التي جرى تركيزها تكنولوجياً (TENORM). و يلاحظ كذلك في هذا الجدول أن نظائر الراديوم (^{226}Ra، ^{228}Ra، ^{224}Ra) هي أكثر المواد تركيزاً و خاصة في الرواسب الصلبة. و لهذا تعد هذه الرواسب أهم نفايات الصناعة النفطية ذات الخطر الإشعاعي. ويعتمد تركيز المواد المشعة الطبيعية على كمية المياه التي يحقن بها البئر ، و لكن كقاعدة يمكن القول بأن ازدياد ترسب المواد المشعة الطبيعية يرافق استخدام حجوم كبيرة من المياه لرفع الضغط، و هذا يؤدي إلى إنتاج حجوم كبيرة من المياه.

٥– ٣ انواع ألمواد المشعة طبيعيا NORM :

أهم أنواع المواد المشعة الطبيعية NORM المتولدة في صناعة النفط والغاز موضحة في الجدول(٥ – 3) وبالإضافة إلى هذه الأنواع فقد اكتشفت حديثاً

جدول (٥– ٣) المواد المشعة الطبيعية في إنتاج النفط والغاز

النوع	النظائر المشعة	الخواص	الحدوث
ترسبات Ra	Ra^{224}, Ra^{228}, Ra^{226} ووليداتها	ترسبات صلبة من Ca, Sr, Ba والكبريتات.والكربونات	تحصل عند الأجزاء الرطبة من أجهزة الإنتاج والآبار.
وحل Ra	Ra^{224}, Ra^{228}, Ra^{226} ووليداتها	رمل، طين، برافين ومعادن ثقيلة.	أجهزة الفصل ومن قشط الخزانات.
ترسب Pb	Pb^{210} ووليداتها	ترسب الرصاص المستقر	تحصل في أجهزة الإنتاج الرطبة.
أفلام Pb	Pb^{210} ووليداتها	ترسبات رقيقة جداً	معاملة النفط والغاز ونقلها.
أفلام Po	Po^{210}	ترسبات رقيقة جداً	أجهزة التكثيف.
الغازات الطبيعية المتكاثفة	Po^{210}, Pb^{210}, Ra^{222}	غازات نبيلة غير مسندة،السطوح	أجهزة معاملة الغاز ونقلة.
الماء الناتج	Pb^{216}, Ra^{224}, Ra^{228}, Ra^{226}	ماء مالح ويكون بحجم كبير في عملية إنتاج النفط	في جميع أجهزة الإنتاج.

نوع آخر من ترسبات المواد التي تسبب التآكل في أجزاء كثيرة من منظومات ضخ مياه البحر والتي تشمل خطوط أنابيب نقل هذه المياه.يعود سبب الترسبات إلى تعزيز تركيز اليورانيوم الموجود في ماء البحر إلى أكثر من تركيزه الاعتيادي نتيجة عمل الكبريتات لخفض البكتريا في محيط غير هوائي.

تتداخل المواد الصلبة (scale) المترسبة بعد زمن طويل مع عملية الإنتاج وذلك بغلق الأنابيب وقد تؤدي إلى مخاطر في العملية الإنتاجية. وتوجد محاولات التقليل من ظاهرة الترسبات بإضافة بعض المواد المانعة للترسيب في منظومة ضخ مياه البحر أو في الأجهزة الموضوعة في أعلى فتحة البئر والمستخدمة لسحب السوائل في آبار النفط المنتجة هذه المواد تقلل من ترسيب مركبات الكبريت والكربونات.اما نظائر الراديوم فإنها تمر خلال منظومة الإنتاج وتطرح مع الماء الناتج.

إن مدى حركة النويدات المشعة من المكامن وظهورها في الماء الناتج وأجهزة الإنتاج تتغير من منشأ إلى أخر ومن بئر إلى أخر وبشكل عام فان الترسبات تكون كثيرة في صناعة النفط مقارنة مع الغاز. وخلال عمر الإنتاج فان الماء الناتج قد يصبح أكثر ملوحة وهو مؤشر لتولد محلول ملحي كناتج عرضي والذي يؤدي إلى تعزيز ذوبان عناصر المجموعة الثانية في الجدول الدوري.

وفي عمر الإنتاج للبئر فأن (NORM) يكون غير موجود في بداية الإنتاج ثم يزداد بعد ذلك. حركة وانتقال الرصاص المستقر والرصاص المشع(Pb^{210}) يكون متغير كذلك. الأوحال الناتجة والحاجة إلى إزالتها بشكل منتظم من الفواصل والمنظومات التي تتعامل مع الماء الناتج كذلك تتغير من مكمن وآخر. أي أنة لا يوجد تركيز معين للنظائر (NORM) من إنتاج الغاز أو النفط وكذلك لا يوجد كمية معينة من الترسبات والأوحال المنتجة سنويا أو خلال عمر إنتاج البئر.

وفي عملية فصل الغاز الطبيعي بالتسييل فإن الرادون يتركز مع الغاز لأنه له نفس درجة الغاز السائل. لذلك يتوقع بان Po^{216} وPb^{216} يتركز في أجزاء معينة من الإنتاج.

جمعت معلومات كثيرة خلال السنوات الماضية عن تركيز النظائر المشعة الطبيعية والتي نشر منها قليلا.وضحت المعلومات بان تركيز Ra^{228} ، Ra^{226} ، و Ra^{224} في الوحل والترسبات الصلبة تتراوح بين اقل من0.1 بيكرل/ غم إلى أكثر من ١٥٠٠٠ بيكرل/ غم موضح في جدول(٥ – ٤)

وبشكل عام فان النشاط الإشعاعي لنظائر الراديوم تكون قليلة في الأوحال مقارنة بالترسبات الصلبة. ويكون العكس بالنسبة Pb^{210} الذي يكون تركيزه قليل في الترسبات الصلبة ولكن قد يصل تركيزه إلى أكثر من 1000 بيكرل/ غم في الإدخال ترسبات الرصاص. ومع أن نظائر الثوريوم لا تنتقل من المكمن لكن نواتج التحلل للثوريوم -228 تبدأ بالنمو.

جدول(٥-٤)تركيز(NORM) في النفط والغاز والنواتج العرضية عن صناعتها

النويدات المشعة	النفط الخام بكرل/غم	الغازا الطبيعي بكرل/م^3	الترسبات الصلبة
U^{238}	0.000 0001-0.01	–	0.001-0.5
Ra^{226}	0.0001-0.04	–	0.1-15000
Po^{210}	0.01 - 0	0.002-0.08	1.5 - 0.02
Pb^{210}	–	0.005-0.02	0.02-75
Ra^{222}	–	5-200000	–
Th^{232}	0.000 03-0.002	–	0.001 – 0.002
Ra^{228}	–	–	0.05-2800
Ra^{224}	–	–	–

٥ – ٤ الرواسب الصلبة - Scales

تحتوي الرواسب الصلبة في صناعة النفط والغاز على نظائر طبيعية مشعة أهمها رواسب (الراديوم) . و تهتم شركات النفط بهذه الرواسب ليس فقط لأن بعضها يحتوي على المواد المشعة الطبيعية، بل لأنها تترسب وتتجمع على الجدران الداخلية للأنابيب و المعدات، مما يؤدي إلى تخفيض معدل الإنتاج وتلف المعدات. لهذا تسعى هذه الشركات لتثبيط وإزالة هذه الرواسب أينما وجدت.

تتكون الرواسب الصلبة الحاوية للمواد المشعة الطبيعية من ترسب كبريتات أو كربونات الراديوم مع كبريتات وكربونات الباريوم أو السترونسيوم أو الكالسيوم عند اختلاط المياه الموجودة طبيعياً في المكامن النفطية مع المياه المالحة المحقونة إلى البئر أو من معالجة المياه المرافقة. ان سبب تكوّن الرواسب الصلبة يعود إلى الاختلاف في درجة الحرارة أو الضغط بين حوض التشكيل و السطح، خلال عمليات استخراج النفط. من أهم العوامل التي تساعد على تكون الرواسب الصلبة في المعدات السطحية هي:

العامل الاول :زيادة تركيز الايونات المعدنية في الماء عن حد ذوبانها.

العامل الثاني: توفر سطوح خشنة أو جسيمات صغيرة لتكون كنوى لبدء تكوّن البلورة، و تنشأ هذه النوى إما من التبلور المستمر للعناصر المترسبة أو من وجود تأكّل في السطوح المعدنية ثم تلتصق هذه البلورات على سطوح معدات الإنتاج.

العامل الثالث: يساهم امتصاص الايونات المعدنية للكالسيوم والباريوم والسترونتيوم على سطوح هذه المواقع في تركيب البلورات.

ان العوامل اعلاة يمكن ان تساهم للتنبؤ بتكوّن الرواسب الصلبة. ويتم ذلك من خلال :

١ – إجراء تحاليل كيميائية لتحديد تركيز الايونات السالبة والموجبة في المياه المرافقة(العامل الاول) مع الأخذ بنظر الاعتبار الظروف الحركية و الثرموديناميكية الحاصلة داخل البئر لتحديد ذوبان وانحلال تلك الايونات.

٢ – توفر مواقع لنشوء البلورة و امتصاص الايونات على هذه المواقع. ولغرض التنبؤ الدقيق يجب دراسة العاملين معا لان حساب كمية الرواسب المتوقعة اعتماداً على نتائج التحليل فقط قد لايكون دقيقا وقد نلاحظ عدم وجود الرواسب الصلبة. ويعود سبب ذلك عدم تحقق العامل الثاني حول توفر مراكز للترسب والالتصاق بالمعدن. و هكذا فإننا بإهمال عامل الالتصاق، يمكن أن تقودنا هذه التحاليل إلى حسابات خاطئة عن حالة الرواسب. و لغرض التنبؤ بتكوّن الرواسب الصلبة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار العوامل كلها بآن واحد لكي يكون التنبؤ دقيقا. وبشكل عام من الصعب التنبؤ بالكمية الحقيقية لهذه الرواسب و لكن يمكن أعطاء قيم تقريبية تبعاً لنوع الترسبات. فعند التنبؤ بتكوين رواسب كبريتات الباريوم ($BaSO_4$) فان ذوبانها يزداد بازدياد محتوى الأملاح في المياه المالحة الخارجة إلى السطح. و لكن الدراسات بينت بأنه لا توجد علاقة خطية بين الذوبان ودرجة الحرارة، أو الذوبان و الضغط، أو الذوبان و محتوى الأملاح. وهذا يعني أنه إذا انخفضت درجة الحرارة أو الضغط أو محتوى الأملاح في المياه المالحة التي تحوي كبريتات الباريوم فسوف تترسب كميات كبيرة أو قليلة من كبريتات الباريوم اعتماداً على مقدار هذا الانخفاض، و على الهبوط النهائي في درجة الحرارة و الضغط و محتوى الأملاح. و لكن كثير من الدراسات بينت أن التغير في درجة الحرارة لها الأثر الأكبر في ترسب كبريتات الباريوم في أغلب الآبار.

تعتبر رواسب كبريتات الكالسيوم أكثر الرواسب صعوبة للتنبؤ مقارنة برواسب كبريتات الباريوم، إذ يعد ترسب هذه المادة أكثر تعقيداً من ترسب كبريتات الباريوم. و يعود ذلك إلى وجود ثلاثة أنواع من بلورات كبريتات الكالسيوم المائية المتكوّنة وهي كبريتات الكالسيوم ثنائية الماء ($CaSO_4.2H_2O$) الجبسوم ، كبريتات الكالسيوم الأحادية الماء ($CaSO_4.H_2O$)، و كبريتات الكالسيوم نصف المائية ($CaSO_4.1/2H_2O$). وعادة ما يترسب نوع واحد فقط من كبريتات الكالسيوم اعتماداً على

الظروف الهيدروميكانيكية و الترموديناميكية المختلفة . و يمكننا القول بوجهٍ عام بانة يتكون الجبسوم في درجات حرارة منخفضة، في حين تتكوّن كبريتات الكالسيوم اللامائية في درجات حرارة مرتفعة. يزداد ترسب الكبريتات اللامائية بازدياد درجة الحرارة، بسبب سلوك الانحلالية غير الطبيعية للكبريتات اللامائية، إذ تنخفض انحلاليتها بازدياد الحرارة. يعود تكوّن رواسب الجبسوم إلى هبوط الضغط أثناء تدفق المياه، وتغير درجات الحرارة و محتوى الأملاح.

أكثر الرواسب انتشاراً في صناعة النفط والغاز هي كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) .

أهم الشروط التي تؤدي إلى ترسبها هو:

١ – انحلالية غاز ثنائي أكسيد الكربون CO_2.

٢ – تكوّن أو تحطيم ايونات البيكربونات والكربونات.

٣ – الضغط المسلط لان الضغط يزيد في سرعة التفاعلات الكيميائية المؤدية إلى ترسب كربونات الكالسيوم .

و لهذا فإن تحاليل ايونات البيكربونات والكربونات و غاز الكربون في المياه مفيد في التنبؤ بتكوّن هذا النوع من الرواسب.

openkanal.com