الجمعية الدولية
لمنتجي النفط والغاز

تقرير
412

مارس
2016

الدليل الارشادي لإدارة
المواد المشعة الطبيعية [النورم] في صناعة النفط والغاز

الدليل الارشادي لإدارة
المواد المشعة الطبيعية [النورم] في صناعة النفط والغاز

ترجمة

م. عز الدين أحميدة الغالي

قسم الدراسات النظرية - معهد النفط للتأهيل والتدريب

مراجعة

الدكتور الصادق محمد القاضي

قسم الفيزياء- كلية العلوم - جامعة طرابلس

الدكتور محمد سعيد المصري

قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرية السورية

إخراج ونشر إلكتروني

هيئة الطاقة الذرّية السورية

دمشق - ص.ب ٦٠٩١

فاكس: ٠٠٩٦٣-١١-٦١١٢٢٨٩

هاتف: ٠٠٩٦٣-١١-٢١٣٢٥٨٠

البريد الإلكتروني: atomic@aec.org.sy

كلمة المترجم

بحكم عملي في قطاع النفط وكذلك تخصصي في مجال حماية البيئة من الإشعاع، فإن أفضل ما يمكن أن أقدمه لهذا القطاع الذي أنتمي إليه ولكل العاملين في قطاع النفط والغاز الناطقين بالعربية، هو هذه الترجمة لأحد أهم التقارير في العالم إن لم يكن أهمها على الإطلاق حول المواد المشعة طبيعية المنشأ المعروفة بالنورم في صناعة النفط والغاز الصادر عن مؤسسة IOGP العالمية.

كل الشكر والامتنان لكل من الدكتور الصادق القاضي الذي «تبرع» بمراجعة هذا التقرير وبدون أي مقابل وهيئة الطاقة الذرية السورية التي تبنت مراجعة وإخراج ونشر هذا التقرير وبدون أي مقابل كذلك.

كما أريد أن أنوه إلى أن المعهد غير مسؤول عن دقة الترجمة علمياً ولغوياً وتقع هذه المسؤولية على عاتق المترجم والمراجعين.

عز الدين أحميدة الغالي

طرابلس- أيلول 2020

تنويه 1

بناء على شرط IOGP في الأذن الممنوح لترجمة التقرير تجدر الاشارة إلى التنويه التالي باللغتين الانكليزية والعربية

This translation of IOGP Report 412 (Version 2.0, March 2016) has been kindly supplied by the Petroleum Training and Qualifying Institute of Libya. The accuracy of the translation has not been verified by IOGP. IOGP accepts no responsibility or liability for the accuracy of the translated report. In all cases, only the original English version is authentic. IOGP reports are subject to regular review and re-publication. IOGP cannot guarantee that unofficial translation reflects the most current version of any report.

جرى ترجمة تقرير IOGP 412 (الإصدار الثاني، مارس2016) من قبل معهد النفط للتأهيل والتدريب الليبي. لم يتم التحقق من صحة الترجمة من قبل IOGP. لا تتحمل IOGP أي مسؤولية أو مسؤولية قانونية عن صحة التقرير المترجم. في جميع الحالات، تعد النسخة الإنكليزية هي النسخة الأصلية. تخضع تقاريرIOGP لمراجعة منتظمة وإعادة نشر. لا يمكن أن تضمن IOGP أن الترجمة غير الرسمية تعكس أحدث نسخة من أي تقرير.

International Association of Oil & Gas Producers

City Tower
40 Basinghall Street
14th Floor
London EC2V 5DE
United Kingdom

T +44 (0)20 3763 9700
F +44 (0)20 3763 9701
reception@iogp.org
www.iogp.org

04 September 2017

Dear Mr Hamida,

Further to recent email correspondence, please accept this letter as confirmation that permission is granted for you to translate IOGP Report 412, *Managing Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in the oil and gas industry*.

We should be most grateful if a copy of the translation might be sent to us to be made available for download through the IOGP website.

Please include the following disclaimer in both Arabic and English at the beginning of the translation:

This translation of IOGP Report 412 (Version 2.0, March 2016) has been kindly supplied by the Petroleum Training and Qualifying Institute of Libya. The accuracy of the translation has not been verified by IOGP. IOGP accepts no responsibility or liability for the accuracy of the translated report. In all cases, only the original English version is authentic. IOGP reports are subject to regular review and re-publication. IOGP cannot guarantee that unofficial translation reflects the most current version of any report.

Please note that any distribution of the translation must be done on a non-commercial basis, for the purposes of information dissemination and education.

With warmest regards,

Llewellyn St David
Compliance Officer

A company limited by guarantee. Registered in England No. 1832064 VAT No. 241 240 903

تنويه 2

بناء على موافقة IOGP فإن الترجمة العربية تتضمن تصحيحات لستة أخطاء علمية ومطبعية في النسخة الأصلية موضحة كالتالي:

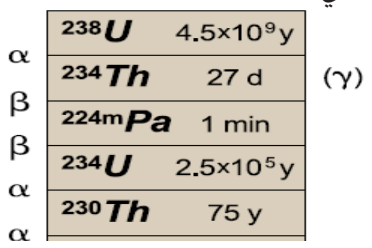
① في الصفحة **8** في السطر **19** في التقرير الأصلي ورد ما يلي:

^{40}K either a β–particle (89%) or γ–photon (11%) is emitted.

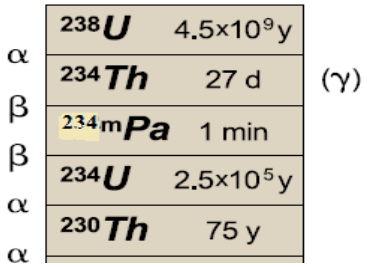
في النسخة العربية وردت الجملة كالتالي:

^{40}K ينبعث جسيم بيتا β (89%) وفوتون γ (.11%).

② في الصفحة 10 في النسخة الأصلية ورد في الشكل 1



في النسخة العربية وردت كالآتي:



③ في الصفحة 12 في السطر 15 ورد في النسخة الأصلية ما يلي:

β-particles have a negative charge of –1

وفي النسخة العربية وردت الجملة كالتالي:

جسيمات بيتا β السالبة لها شحنة تساوي شحنة الإلكترون e–

④ في الصفحة 20 في النسخة الأصلية في الجدول 5 وردت الجملة الانكليزية كالآتي:

Table 5: NOR activity concentration range reported for scale and deposits

وهو خطأ مطبعي، في النسخة العربية وردت كالآتي:

الجدول 5 مجال تركيز النشاط الإشعاعي للنكليدات المشعة الطبيعية المنشورة للرواسب الحرشفية والترسبات

⑤ في الصفحة 26 في النسخة الأصلية في السطر الأخير وردت الجملة الانكليزية كالآتي:

Appendix C (effective dose weighting levels).

أما في النسخة العربية فوردت الجملة كالتالي:

راجع الملحق A (المستويات المرجحة للجرعة الفعالة).

⑥ في النسخة العربية في العمود الأخير من جدول الملحق B تصحيحات للنسخة الأصلية

تنويه 3

استعملت في النسخة العربية المصطلحات العلمية والتقنية المنشورة في معجم المصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية الصادر عن هيئة الطاقة الذرية السورية عام 1999:

النكليدات المشعة الطبيعية (النورس)	Naturally Occurring Radionuclides (NORs)
المواد المشعة الطبيعية (النورم)	Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)
الرواسب الحرشفية	Scales
الطين أو الكدارة أو الحمأة	Sludge
نواتج الكشط	scrapings

المحتويات

1.	**المقدمة**	**11**
1.1.	مصادر النويدات المشعة طبيعية المنشأ	13
1.2.	متسلسلة اضمحلال الثوريوم واليورانيوم	15
1.3.	وحدات النشاط الإشعاعي	16
1.4.	خصائص الإشعاع	17
1.5.	تراكم النور في إنتاج النفط والغاز	19
1.6.	النور في منتجات صناعة النفط والغاز	21
1.7.	النور في صناعة النفط والغاز– تدفق النفايات السائلة	23
1.8.	النور في صناعة النفط والغاز– تدفق النفايات الصلبة	24
1.9.	النور في صناعة النفط والغاز– الحمأة ونفايات الكشط (الخراطة)	26
1.10.	التفريغ في البيئة	27
2.	**المخاطر الصحية الناتجة عن النورم**	**29**
2.1.	مصادر التعرض	30
2.2.	الجرعة الفعالة	32
3.	**دورة إدارة النورم**	**34**
4.	**نظم النورم**	**36**
5.	**رصد النورم**	**38**
5.1.	معدات رصد الإشعاع	40
5.1.1.	مقياس معدل الجرعة	41
5.1.2.	مقياس الجرعات	41
5.1.3.	صد تلوث الأسطح	42
5.1.4.	مراقيب تلوث للنشاط الإشعاعي المحمول جوا	43
5.1.5.	المراقبة في العمل	43
6.	**التدريب والتوعية**	**46**
7.	**التحكم في مواقع النورم**	**47**

8.	**المعدات الملوثة بالنور**	**50**
8. 1.	التحكم	50
8. 2.	التطهير المحلي للمعدات	52
8. 2. 1.	مناطق العمليات	53
8. 2. 2.	مراقبة الأعمال	54
9.	**حماية العمال**	**55**
9. 1.	دخول الفضاءات المحصورة	56
10.	**نقل المعدات الملوثة بالنور (نورم)**	**57**
11.	**معالجة الأراضي الملوثة بالنورم**	**60**
12.	**خيارات التخلص الدائم**	**62**
الملحق **A**	**مصطلحات النشاط الإشعاعي ومفهوم الجرعة**	**64**
الملحق **B**	**الاختصارات والأمثلة**	**66**
الملحق **C**	**معاملات تحويل الجرعة**	**67**
ملحق **D**	**خصائص اضمحلال وإشعاع سلسلتي اضمحلال 232Th و 238U**	**68**
المراجع		**70**

1. المقدمة

يوفر هذا التقرير توجيهات ومعلومات عامة عن إدارة سوائل العملية أو المعدات الملوثة بتراكيز طفيفة من النكليدات المشعة الطبيعة (النورس) (Naturally Occurring Radionuclides (NORs. عموماً، يشار إلى السوائل أو المعدات الملوثة بالنورس بأنها ملوثة بالمواد المشعة الطبيعية (النورم) (Naturally Occurring Radioactive Material (NORM ضمن صناعة النفط والغاز.

تتواجد النورس بتراكيز متباينة في القشرة الأرضية، وبالتالي فهي موجودة أيضا بتراكيز طبيعية في مكامن النفط والغاز. يمكن أن تصبح تراكيز النورس في سوائل البئر معززة نتيجة عمليات الاستخراج، وبالتالي تتشكل الترسبات الغنية بالنورس ضمن منشآت الإنتاج مكونة النورم، مثل الماء المنتج produced water، والرواسب الحرشفية scales والطين والكدارة (الحمأة) sludge ومخلفات كشط الأنابيب.

يمكن أن تؤدي فعاليات العمل غير المنضبطة التي تشمل النورم إلى تعرض إشعاعي غير مرغوب به، وانتشار وبالتالي تشكل هذه الفعاليات خطراً على صحة الإنسان والبيئة. يمكن تخفيض هذه المخاطر أو الجرعات الناجمة عن التعرض للإشعاعات المؤينة الناشئة عن النورم بتطبيق مراقبات مناسبة لتحديد ما إذا كان النورم موجود وأين. تتحقق المبادئ العامة للوقاية من أخطار الإشعاعات المؤينة مبدئيا بأتباع أفضل ممارسات العمل في أماكن تواجد النورم. وفي هذا الصدد، يعد التحكم في التعرض والقياس المناسب للجرعات هما العنصران الأكثر أهمية لبرنامج الصحة والسلامة في وقاية العاملين. تتحقق حماية البيئة وبالتالي الجمهور عن طريق التحكم في عملية التخلص من نفايات النورم وتبني ضوابط الانبعاث.

في التقرير الحالي، سيتم استخدام مصطلح نورم (NORM)، ولكن يمكن أن نجد أيضا مصطلح بديل شائع وهو المصطلح «تينورم TENORM» وهو اختصار Technologically Enhanced NORM – النورم المعزز تكنولوجيا – يستخدم هذا المصطلح بشكل رئيس في الولايات المتحدة للتمييز بين النورم «الطبيعي» والنورم الناتج عن التكنولوجية المستخدمة من قبل الإنسان. ولقد أشير سابقا للرواسب الحرشفية المشعة (scale) إلى الرواسب الحرشفية ذات النشاط النوعي المنخفض Low Specific Activity (LSA)، ظهر هذه الاختصار في اللوائح الخاصة بنقل المواد المشعة والصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية International Atomic Energy Agency (IAEA) وبالمثل، تسمى أحيانا أجزاء المنشآت والأسطح الداخلية الملوثة برواسب النورس بالجسم مُلوّث السطح Surface Contaminated Object (SCO).

ضمن تخصص الوقاية الاشعاعية، يوجد حاجة لتوخي الحذر بسبب العدد الكبير من وحدات القياس المختلفة والبادئات الشائعة الاستخدام، حيث يمكن أن يؤدي ذلك إلى أخطاء محتملة لعدة أضعاف للمقادير وتقدير خاطئ للمخاطر. في هذا التقرير، سوف يستعمل النظام الدولي للوحدات SI، مع بيان البدائل وعوامل التحويل في الملحق A.

الوحدات الرئيسة هي:

وحدة قياس النشاط الإشعاعي: (بكرل Becquerel or Bq) يشير إلى عدد الاضمحلالات النووية في الثانية. ولكن أيضا هناك وحدات مشتقة تقابها مثل النشاط الإشعاعي لكل كتلة أو حجم Bq/g (صلبة)، Bq/L (سائلة) وBq/m^3 (غازية).

الجرعة الممتصة: (غراي Gray GY) تشير إلى كمية الطاقة (J) المودعة في كل وحدة كتلة (kg). وهذه الجرعة لا تأخذ في الحسبان الضرر البيولوجي الذي لحق بالجسم البشري.

الجرعة الفعالة: (Sievert or Sv سيفرت) هي وحدة SI مشتقة، أدخلتها الفيزياء الصحية لتأخذ في الحسبان نوع الإشعاع وحساسية الأنسجة المعرضة له.

بما أنه لا يمكن للحواس البشرية الكشف عن الإشعاع المؤين لذلك يجب استخدام أجهزة مراقبة الإشعاع. جرى عرض مبادئ التشغيل لهذه الأجهزة بشكل منفصل في القسم 5 (مراقبة النورم).

يعد هذا التقرير خارطة طريق يؤسس لنهج موحد في إدارة النورم. لا يؤدي هذا التقرير إلى إعاقة أو عرقلة العمليات العادية، ولكن يصف الضوابط التي تم تكييفها مع ممارسات التعامل مع النورم. يعد هذا الدليل مرن بحيث يمكنه أن يستوعب الاختلافات التنظيمية التي تشترطها الشركات الأعضاء في الاتحاد الدولي لمنتجي النفط والغاز IOGP للتعامل مع النورم.

يجب التشديد على أن هذا الدليل يوفر فقط إطار عمل. ويجب على مستخدمي هذا الدليل إدراك أن إدارة النورم تتطلب التشاور والمشاركة مع عدد من أصحاب المصلحة، ولاسيما موافقة السلطات التنظيمية المختصة. وعلاوة على ذلك، قد يؤدي التركيز فقط على النورم إلى تجاهل الملوثات الخطرة الأخرى التي تتواجد أحيانا جنبا إلى جنب مع النورم. ومن الأمثلة على ذلك المعادن الثقيلة مثل الزئبق والغبار الأسود القابل للاشتعال (كبريتيد الحديد الناعم جدا المتبعثر).

جرى التركيز في هذا التقرير على إدارة النشاط الإشعاعي الطبيعي (النورم) وليس على إدارة تطبيقات الإشعاع المؤين (مثل أجهزة الأشعة السينية والمولدات النترونية) أو النشاط الإشعاعي الصنعي مثل المصادر المشعة المغلقة (المختومة) sealed sources أو مقتفيات الأثر الإشعاعية radiotracers وغيرها.

1.1. مصادر النكليدات المشعة طبيعية المنشأ

تتواجد جميع العناصر الطبيعية في قشرة الأرض بتراكيز متفاوتة1. ومع ذلك فإن ثمانية فقط منها وهي الأكسجين (O)، والسيلكون (Si) والألمونيوم (Al) والحديد (Fe) والكالسيوم (Ca) والصوديوم Na)) والمغنيزيوم (Mg) والبوتاسيوم (K) تكوّن 98,5% من هذه القشرة. مبدئيا، قد تكون جميع العناصر موجودة في صخور مكامن النفط والغاز، ومن خلال عمليات الغسل الجيوكيميائي، في سوائل هذه المكامن، بما في ذلك المياه الحبيسة (connate water).

تتشكل جميع العناصر من واحد أو أكثر من النكليدات التي تنشأ طبيعيا. وتسمى مجموعة النكليدات المتساوية في عدد البروتونات بالنظائر. وإذا كانت هذه النكليدات غير مستقرة وتضمحل، فإنها تسمى بالنكليدات المشعة، وإذا كان هذه الاضمحلال طبيعيا فإنها تعرف بالنكليدات المشعة طبيعية المنشأ (NORs). مثلا البوتاسيوم K (وفرته في قشرة الأرض تبلغ 2,1%) يتألف من ثلاثة نظائر وهي ^{39}K (وفرته الطبيعية 93,2581%) و^{40}K (وفرته الطبيعية 0,0117%) و^{41}K (وفرته الطبيعية 6,7302%). وتوجد أيضا عناصر الثوريوم (Th) واليورانيوم (U) في قشرة الأرض ولكن على مستوى جزء في المليون (ppm)، حيث يتكون الثوريوم من نظير واحد (^{232}Th:100%) ويتكون U من نظيرين (^{238}U: 99,275% ^{235}U: 0,720%).

تشكل تقريبا النكليدات المستقرة العناصر كافة، ولكن تعد العناصر مثل Th وU غير مستقرة أو مشعة بطبيعتها، حتى أنها سوف تختفي في وقت ما عن طريق الاضمحلال النووي. وبما أن أعمار أنصافها ($t_{1/2}$) طويلة جدا (^{232}Th $t_{1/2} = 1.405\times10^{10}$ years, ^{235}U $t_{1/2} = 7.038\times10^{8}$ y and ^{238}U $t_{1/2} = 4.468\times10^{9}$y) فإنها موجودة منذ أن تشكل كوكب الأرض وتسمى النورس البدائية أو الأرضية (primordial or terrestrial NORs).

ينتشر K بشكل واسع في الطبيعة، في النباتات والحيوانات والصخور وفقا للتوزع النظيري الذي جرى التحدث عنه. فعلى سبيل المثال، إذا غُسل K من صخور المكامن إلى الماء الحبيس، فإن توزع نظائرK في الحالتين (صلبة / صخرية، سائلة / ماء) يكون متطابق. وهذا يعني أن أي كائن يحتوي على K سوف يحتوي على ^{40}K المشع كذلك. فعند تفكك نووي واحد (nuclear disintegration) من ^{40}K ينبعث جسيم بيتا β (89%) وفوتون γ (11%). وبما أنه ينجم عن هذا الاضمحلال (decay) نكليد مستقر (غير مشع) وهو نظير الأرغون40 (^{40}Ar) في الصخور والذي يمكن استخدامه لقياس عمر الصخور، حيث أن الصخور الأقدم يزيد فيها (^{40}Ar) ويقل ^{40}K.

على عكس ^{40}K، فإن اضمحلال ^{232}Th و^{238}U و^{235}U يكون عبر متسلسلة نووية متتالية من التفككات النووية (تعرف بسلسلة الاضمحلال)، حيث تكون النكليدات الوليدة مشعة حتى تنتهي السلسلة بنظير الرصاص (Pb) المستقر. في التوازن الابدي (secular equilibrium)، تكون تراكيز النشاط الإشعاعي للوليدة مماثلة لتلك الخاصة بالنكليد الام من النكليدات المشعة الطبيعية.

يوضح الجدول 1 متوسط ومجال وفرة البوتاسيوم K والثوريوم Th واليورانيوم U في الصخور (غالبا المكامن) الرسوبية [2].

الجدول 1: متوسط ومجال تراكيز K وTh وU في الصخور الرسوبية

صنف الصخور الرسوبية	البوتاسيوم Potassium (K)			الثوريوم Thorium (Th)			اليورانيوم Uranium (U)		
	%		$Bq(^{40}K)/g$	جزء لكل مليون (ppm)		$Bq(^{232}Th)/g$	جزء لكل مليون (ppm)		$Bq(^{238}U)/g$
	متوسط	المجال	متوسط	متوسط	المجال	متوسط	متوسط	المجال	متوسط
الصخور المتفتتة (DETRITAL)	2.1	0.01-9.7	7	12.4	0.2-362	0.05	4.8	0.1-80	0.06
الحجر الرملي وتكتلات الكوارتز والاركوس (Sandstone & Conglomerate Orthoquartzites Arkoses)	1.2	0.1-8.5	0.4	9.7	0.7-227	0.04	4.1	0.1-62	0.05
	2		0.06	1.5		0.0006	0.5	0.5-3	0.005
				5		0.02	1.5		0.02
الصخر الزيتي الرمادي / الأخضر الظهر (Shale grey/green back)	3.5	0.9-8.5	1.1	16.3	5.3-39	0.07	5.9	0.9-80	0.07
	3		0.9	13		0.05	3	3-4	0.04
								8-20	
الطين (clay)	0.6	0.1-2.6	0.2	8.6	1.9-55	0.03	4	1.1-16	0.05
المواد الكيميائية (CHEMICAL)	0.6	0.02-8.4	0.2	14.9	0.03-132	0.06	3.6	0.03-27	0.04
كربونات الحجر الجيري (Carbonates Limestone)	0.3	0.01-3.5	0.090.2	1.83	0-11	0.007	2	0.03-18	0.02
الابخرة (Evaporites)						0.01	13		0.16
							0.1>		0.001>

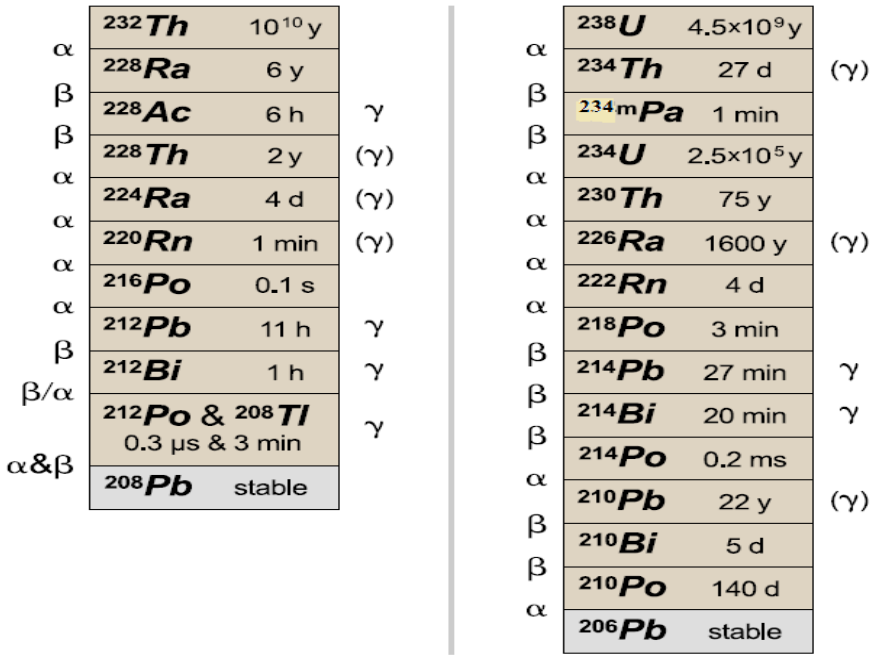
2.1. سلسلة اضمحلال الثوريوم واليورانيوم

تشكل النكليدات المشعة طبيعية المنشأ ^{232}Th و^{235}U و^{238}U نقطة بداية لثلاث سلاسل اضمحلال إشعاعي مميزة. ولكن نظرا لانخفاض وفرته في الطبيعية، فإن ^{235}U ونواتج سلسلة اضمحلاله نادرا ما يتم التعامل معها في الممارسة العملية، لذا فإن سلسلتي ^{232}Th و^{238}U هي الأكثر أهمية فيما يتعلق بمصدر النورم في حقول النفط[3]. ويخضع هذين «النظيرين السلف» للاضمحلال الإشعاعي من خلال سلسلة من التحولات (انظر الفقرة 1,4): فقدان جسيم ألفا α–particle (تغير العنصر والكتلة) أو جسيم بيتا β–particle (تغيير العنصر فقط، بدون تغيير في الكتلة تقريبا). ويرافق بعض هذه التحولات انبعاث لفوتونات غاما (γ). يؤدي كل تحول إلى «وليدة» مشعة جديدة – وتكون هذه الوليدة أخف وزنا وأقل طاقة من «النكليد السلف» المباشرة حتى التحول الأخير عندما يتم الوصول إلى نظير الرصاص المستقر Pb. سلسلتي اضمحلال ^{238}U و^{232}Th مفصلة في الشكل 1 وتظهر (النورس) المهمة وآليات اضمحلالها α أو β وأعمار النصف لها وإذا ما كانت مرتبطة بأي انبعاث لفوتونات غاما. انظر أيضاً الملحق D (خصائص الاضمحلال والإشعاع لسلسلتي ^{232}Th- و^{238}U-).

ينخفض مقدار النشاط الإشعاعي N، بمعدل يتناسب مع قيمته الحالية $dN/dt = \lambda N$، حيث λ هو معدل موجب يسمى بثابت الاضمحلال الاسي. مرتبطة بعمر النصف $t_{1/2}$ للنكليدات المشعة $\lambda = \ln(2)/t_{1/2}$ حيث عمر النصف هو الزمن اللازم

لاضمحلال نصف الذرات المشعة التي كانت موجودة عند بدء القياس. ولا يمثل عددا ثابتا من الذرات التي تفككت، ولكن جزء. يتفاوت عمر النصف لعناصر سلسلتي اضمحلال ^{232}Th و^{238}U من مليارات السنين إلى أقل من ميكروثانية.

تحدث ظاهرة التوازن الأبدي عندما يضمحل النكليد السلف ذو عمر النصف الطويل عن طريق إحدى وليداتها (أو أكثر) ذات الأعمار القصيرة. في هذا الحالة، تكون فيها كميات كل الوليدات ثابتة (مماثلة للـ ^{238}U و^{232}Th) لان معدل إنتاجها الناشئ عن اضمحلال النكليد السلف المباشر مساوي لمعدل اضمحلال الوليدات. بافتراض أن التركيز الأولي لجميع النورس الأعضاء يساوي صفر، فإن التوازن الكامل ينشأ فقط بعد عدة أعمار نصف للنكليدات الأطول عمراً الموجودة، ففي سلسلة ^{232}Th تحدث بعد حوالي 30 عاما، ولكن في سلسلة ^{238}U تحدث بعد حوالي 10^6 سنة. ويعني عمر النصف الطويل جدا للـ ^{232}Th و^{238}U أن كلا السلسلتين في حالة توازن أبدي بمقياس زمني جيولوجي، حيث يمكن استعمال شدة انبعاث γ للنكليد البنت كمؤشر على تركيز النكليد السلف. وتستخدم هذه العلاقة في عمليات مسوحات النورم وقياس مطيافية أشعة غاما وتحليل العينات.



الشكل 1: سلسلتي اضمحلال ^{232}Th و ^{238}U الشاملة بما في ذلك آلية الاضمحلال وعمر النصف

3.1. واحدات النشاط الإشعاعي

النظام العالمي للوحدات (**SI**) لكمية النشاط الإشعاعي هو البكريل **Becquerel** أو **Bq** باختصار.
البكريل الواحد يساوي تفكك واحد في الثانية.

يرتبط البكريل Bq فقط بكمية النشاط الإشعاعي ولا يعطي أي معلومة عن نوع الاضمحلال. وبما أن تفكك واحد هو كمية صغيرة جداً، كثيراً ما تعطى القيم بالبادئات (أنظر الملاحق A وB). ففي قياسات النورم تكون عادة الكيلو Kilo ($K\ 10^3$)، الميغا mega ($M\ 10^6$)، الغيغا giga ($G\ 10^9$) أو التيرا tera ($T\ 10^{12}$). وتستعمل واحدة البكريل بشكل واسع في التعبير عن تركيز النشاط الإشعاعي في الطور الغازي (Bq/m^3)، وفي الطور السوائل (Bq/L) وفي الطور الصلب (Bq/g)، وكمية النشاط الإشعاعي في واحدة المساحة: Bq/cm^2.

في بعض البلدان، لا تزال واحدات القياس القديمة شائعة الاستعمال. فعلى سبيل المثال، في الولايات المتحدة الأمريكية كثيراً ما تستعمل واحدة الكوري (Ci): ويعرف الكوري بأنه معدل اضمحلال 1g من الراديوم (أساساً ^{226}Ra) ويساوي 3.7×10^{10}Bq وبما أن Ci كمية كبيرة من النشاط الإشعاعي، فغالبا ما يرافق النشاط الإشعاعي للنورم أو التركيز الإشعاعي

بادئة مثل الميكرو micro (μ 10^{-6}) أو نانو nano (n 10^{-9}) أو بيكو pico (p 10^{-12})، حيث 1Bq يساوي 27 pCi.

يجب توخي الحذر للتأكد من استعمال واحدة القياس الصحيحة، خاصة عندما يتم استنساخ القيم من التقارير أو الأدلة الارشادية أو قراءات الأجهزة. وقد يكون الأمر أكثر تعقيدا عند استعمال واحدات النظام العالمي SI لقياس الجرعات (Gy, Sv) أو أسلافها (rad, rem) (الملحق A). لا يمكن حساب النشاط الإشعاعي مباشرة من معدل الجرعة والعكس صحيح، حيث يتطلب هذا النوع من التحويلات معلومات سياقية إضافية (القسم 2).

4.1. خصائص الإشعاع

يوجد ثلاثة أنواع من الإشعاعات ذات أهمية والتي تنبعث بكميات مختلفة بواسطة النورم[4]:

- جسيمات ألفا (α).
- جسيمات بيتا (β).
- فوتونات غاما (γ).

جسيمات α : هي نوع من الإشعاع المؤين المنبعث من نواة بعض الذرات غير المستقرة، وهي شظايا ذرية كبيرة تتكون من بروتونين ونيوترونين مماثلة لذرة هليوم منزوعة الالكترونات، وهي جسيمات ثقيلة نسبيا (العدد الكتلي 4)، وطاقة عالية (Mev) وهي جسيمات ثنائية (موجبة) الشحنة وتفقد طاقتها بسرعة كبيرة في المادة. تنتقل جسيمات ألفا حوالي 2cm فقط في الهواء وحوالي 10μm أو أقل في المواد الصلبة مثل الأنسجة البشرية.

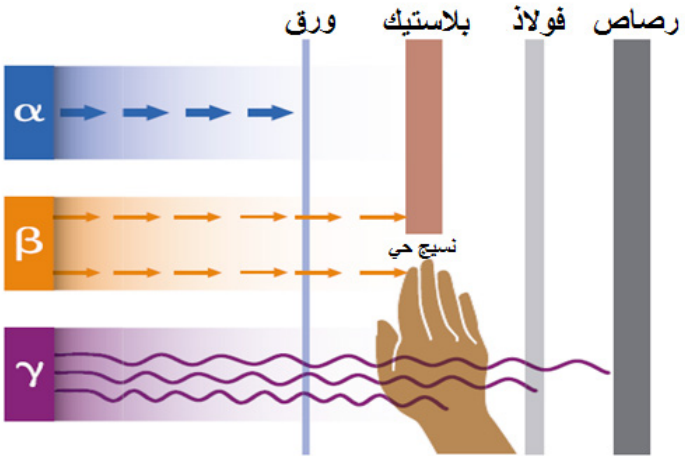
يمكن إيقافها بسهولة بقطعة من الورق أو القفازات والثوب القابل للطرح والطبقة الخارجية الميتة من جلد الإنسان. ويعود سبب القلق الأساسي من الناحية الصحية استنشاق أو ابتلاع جسيمات ألفا (α) حيث تصبح على تماس مباشر مع الأعضاء الداخلية والأنسجة الحية في الجسم، مثل طبقة تبادل الأوكسجين في الرئة أو طبقة المغذيات في الأمعاء.

جسيمات بيتا β: هي جسيمات دون ذرية تنبعث من نواة بعض الذرات المشعة. وهي مكافئة للإلكترونات، ولكن يعود مصدر جسيمات بيتا β إلى النواة في حين يكون مصدر الإلكترونات المدارات الالكترونية خارج النواة. تكون لجسيمات بيتا شحنة سالبة تساوي شحنة الإلكترون –e وكتلة تعادل حوالي 1/2000 من كتلة البروتون أو النيوترون. تعتمد السرعة الفردية لجسيمات بيتا على مقدار الطاقة التي لديها ومتغيرة على مدى واسع.

تسبب طاقتها الزائدة الضرر للخلايا الحية. يمكن عند انتقال هذه الطاقة أن تكسر الروابط الكيميائية وتشكل أيونات. يمكن لجسيمات بيتا أن تنتقل حوالي 1m في الهواء، ويقدر المدى الأقصى لجسيم β بطاقة 500kev في الأنسجة حوالي1mm. يمكن إيقافها (تدريعها) بشكل فعال بقطعة رقيقة من الألمونيوم أو الحديد أو البلاستيك، ولكن على عكس جسيمات ألفا لا يمكن تدريعها تماما بالقفازات أو المعاطف.

فوتون غاما γ : وهو انبعاث غالبا ما يرافق انبعاث β– وأحيانا جسيمات α بسبب استرخاء حالة النواة المثارة الذي ينتج عنه تشكل نكليد مشع طبيعي جديد. يمكن لفوتونات غاما أن تنتقل مسافة غير محددة في الهواء، ولإيقافها يجب استعمال مادة بكثافة الكترونية عالية مثل الرصاص (Lead (Pb.

نظرا لطول مدى فوتونات غاما γ في الهواء فهي تعد ذات خطر تشعيع خارجي لجسم الإنسان. وتكون فوتونات غاما التي توقفت في الأنسجة الحية هي فقط التي قد تسبب التأين في هذه الأنسجة، وفي حال اندخالها يمكن أن يحدث تشعيع في داخل الجسم.



الشكل 2: قدرة اختراق الإشعاع المؤين (اقتبست من NRPB 1999[5])

5.1. تراكم النكليدات المشعة الطبيعية في إنتاج النفط والغاز

في مكمن الغاز والنفط الذي لم ينتج منه بعد، تكون النكليدات المشعة في سلسلتي الاضمحلال ^{232}Th و^{238}U في حالة توازن أبدي. أما بالنسبة لمكامن الإنتاج الكيميائي، يكون التوازن الابدي جزئي بين النكليدات المشعة الطبيعية في صخور المكامن وسوائل المكامن التي تعتمد على الخصائص العنصرية:

Th وU: بما أن بيئة مكامن النفط والغاز هي بيئة مرجعة لكل من ^{232}Th أو ^{238}U فهما يبقيان في طور الصخور الصلبة ولا يذوبان في الطور المائي أو الطور النفطي. وبالتالي تبقى في أعلى سلسلتي الاضمحلال في المكمن الصخري، ويمكن أن تظهر فقط بتراكيز طبيعية (الجدول 1) على السطح أثناء عمليات الحفر.

الراديوم Ra: إن تجزئة Ra (^{228}Ra، ^{226}Ra، ^{224}Ra) هي حالة خاصة لأنهم تشكلوا باضمحلال α من والداتهم المباشرة (الشكل 1)، كما يمكن أن يحققوا من السطح البيني صخور–سوائل إلى سوائل البئر بما يسمى بارتداد α (recoil α). بالإضافة إلى ذلك، يفضل Ra الطور المائي، مؤدياً نوعاً ما إلى تراكيز معززة طبيعياً. لذلك في عمليات الإنتاج، سوف يتبع Ra تيار المياه المنتجة. يشابه Ra كيميائياً الباريوم (barium Ba) والسترونسيوم (strontium Sr)، والكالسيوم (calcium Ca) والمغنيزيوم (magnesium Mg) ويصبح مندمج في كبريتات المجموعة الثانية أو كربونات مترسبة في الرواسب الحرشفية (scale). وبمجرد ترسبها داخل التجهيزات أو إنتاجها عند السطح تظهر نورس Ra الثلاثة ^{228}Ra، ^{226}Ra، ^{224}Ra سلوكيات مختلفة بسبب خواصها الإشعاعية[6]:

^{228}Ra: سريع جداً (في غضون يومين) في الوصول لتوازن أبدي مع الاكتنيوم 288 ^{228}Ac (يشار إليه كا $^{228}Ra_{eq}$) وبعدها بعملية أبطأ بكثير (حوالي 10 سنوات) ^{228}Th، والذي لم يكن موجوداً (المترسب من) في الماء المنتج، المتنامي في (التوازن العابر) (transient equilibrium). مع ظهور ^{228}Th كل النورس حتى ^{208}Pb (الشكل 1) تظهر كذلك في غضون أسبوعين (يشار إليهم كا $^{228}Th_{eq}$).

^{226}Ra: يبدأ ^{226}Ra حالة التوازن الأبدي (في غضون أسبوعين) مع النورس قصيرة العمر وهي (^{222}Rn، ^{218}Po، ^{214}Pb، ^{214}Bi و^{214}Po) الخاصة بها والتي يشار إليها كا $^{226}Ra_{eq}$. يحدث نمو ^{210}Pb بمعدل أبطأ بكثير (حوالي 100 سنة).

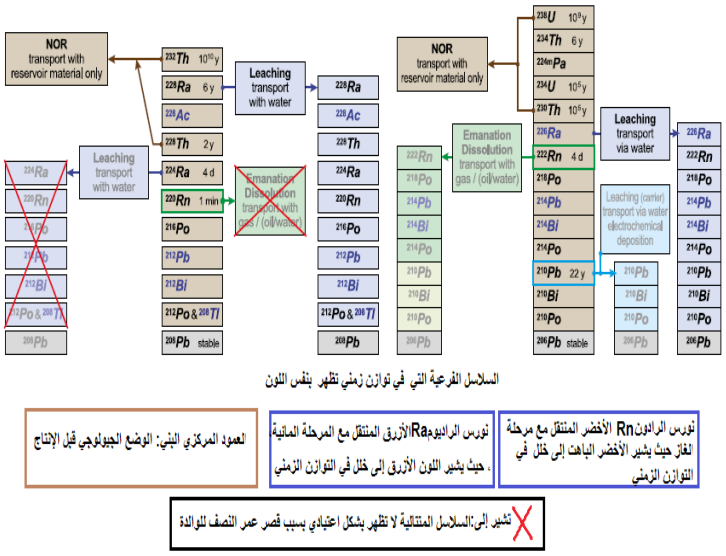
^{224}Ra: يظهر في الماء المنتج أو رواسبه دون الوالدة المباشرة (^{228}Th)، لذلك فإنه لا ينمو أكثر، وبسرعة (في غضون أسبوعين) يتلاشى. وهذا يعني أن الكشف عن ^{224}Ra يمكن أن يتم فقط في عينات المياه المنتجة الحديثة. ومع ظهور ^{228}Th مجدداً، سيظهر ^{224}Ra مجددا في العينات الاكثر قدماً كعضو في السلسلة الفرعية $^{228}Th_{eq}$.

الرادون Rn : تعد نظائر (Rn) حالة خاصة كونها عنصر غازي خامل ويفضل (طبيعياً) الطور الغازي للانتقال من باطن الأرض إلى السطح. وبما أن ^{220}Rn (المعروف أيضا باسم الثورون) يعيش فقط لدقائق فأنه سوف يضمحل حال وصول هذا النكليد الطبيعي إلى السطح. أما غاز الرادون-222 ^{222}Rn بعمر نصف وقدره حوالي أربعة أيام، فيمكن أن يظهر في منشآت معالجة سوائل الغاز الطبيعي (NGL) (بالتحديد معالجة تيار، C3) وفي طبقة الغاز في صهاريج تخزين النفط الخام (الغاز المصاحب) أو في خطوط نقل الغاز الطبيعي (NG). وفي نهاية المطاف فإنه سوف يضمحل إلى ^{210}Pb، ولكن بما أن عمر النصف لغاز ^{222}Rn قصير مقارنة بـ ^{210}Pb فأنه لن يتم الوصول لحالة التوازن. يمكن للـ ^{210}Pb المترسب في الأصل من تراكيز أولية عالية نسبيا من ^{222}Rn أن يظهر بسبب العمليات المطولة في منشآت معالجة NGL، وفي حمأة (sludge) قاع خزانات تخزين النفط الخام وفي حمأة محطات ضخ الغاز الطبيعي في خطوط نقله.

Pb: في حقول النفط أو الغاز، حيث يكون الـPb المستقر موجوداً في الماء المنتج، يمكن للـ ^{210}Pb أن يندمج أيضاً في أي رواسب تشكلت[7]. في هذا النوع من الرواسب تكون تراكيز النشاط الإشعاعي للـ ^{210}Pb أعلى بكثير من تراكيز النشاط الإشعاعي للـ^{226}Ra، وهذا يشير إلى وجود فصل وآلية مستقلة لنقل الـ Pb (^{210}Pb غير المدعم).

تؤدي دائماً عمليات الغسل إلى ظهور النورس بتراكيز أثر كيميائية، مثلاً 1Bq من (^{226}Ra) يقابل حوالي 30pg (^{226}Ra). ويبين الشكل 3 الفصل الكيميائي الذي يحدث أثناء إنتاج الغاز والنفط حسب الوصف السابق.

يمكن أن يتفاوت مستوى تراكم النورم تفاوتاً كبيراً من منشأة إلى أخرى اعتمادا على التكوين الجيولوجي وظروف التشغيل وكما يتغير أيضا على مدى عمر البئر الواحد. لا يمكن تمييز النورم عن المواد الخام والمخلفات الأخرى في حقول النفط إلا بقياس مختص، وكمية هذه المواد ليس بالضرورة أن تحدد كمية النورم الموجودة أو المخاطر الإشعاعية التي قد تمثلها. ولتحديد ما إذا كان النورم متراكم في المنشأة أم لا، يتطلب إجراء مسح دوري للنورم مع احتمالية إتباعه بجمع عينات وتحليلها.



الشكل 3: انقسام سلسلتي الـ ^{232}Th و^{238}U خلال إنتاج الغاز / النفط

6.1. النكليدات المشعة الطبيعية في منتجات صناعة النفط والغاز

إن تركيز النكليد المشع الطبيعي الوحيد الذي يمكن قياسه بواسطة جهاز قياس سهل الاستعمال في مخابر الإنتاج (في الموقع) هو غاز ^{222}Rn في الغاز الطبيعي[8]. ولا يمكن قياس بقية تراكيز نشاط النور في منتجات صناعة الغاز والنفط إلاّ في مخابر المتعهدين المتخصصة.

خلال عملية الإنتاج، يتدفق النور مع خليط سوائل البئر بتراكيز أثر. ويوضح الجدول 2 مدى تركيز نشاط النور في النفط الخام والغاز الطبيعي المسال (NGL) والغاز الطبيعي (NG). كل التراكيز روتينيا أقل بمقادير عديدة من تراكيز النشاط في أي مرحلة من مراحل عملية التراكم التي تحدث لاحقا. كلما زاد ثقل النفط الخام يمكن أن تزداد تراكيز ^{238}U /^{232}Th، وبذلك يمكن أن تصبح تراكيز ^{238}U /^{232}Th قابلة للقياس في أي بقايا منتجة. حتى الآن، لم يتم العثور على أي من مخلفات النور الثقيلة تتجاوز 1Bq(NOR)/g.

^{222}Ra : هو الغاز الخامل المشع الموجود بدرجات متفاوتة في (NG) الموجود في مكامن النفط والغاز. في غياب NG، ^{222}Rn يتجزأ في الهيدروكربونات (الخفيفة) (NGL) و/ أو الطور المائي. عندما ينتج مع النفط والغاز، ^{222}Ra عادة ما يتبع تدفق الغاز. وإذا ما انفصل (NG) أو (NGL)، فإن نسب عالية متفاوتة من ال ^{222}Rn يمكن أن تتركز في البروبان وبدرجة أقل في تيارات الإيثان.

الجدول 2: مدى تركيز نشاط النور الإشعاعي المنشورة بالنسبة للنفط الخام، (NG) و(NGL).

تشير eq إلى أن سلسلة الاضمحلال في حالة توازن أبدي.

	NOR	Bq[NOR]/L[oil]	Bq[NOR]/L[NGL]	Bq[NOR]/m^3[NG]
سلسلة ^{232}Th	^{232}Th	0.03 < > 2	n.r.	n.r.
	$^{228}Ra_{eq}$	n.r.	n.r.	n.r.
	$^{228}Th_{eq}$	n.r.	n.r.	n.r.
سلسلة ^{238}U	^{238}U	0.0001 < > 10	n.r.	n.r.
	$^{226}Ra_{eq}$	0.1 < > 40	n.r.	n.r.
	$^{222}Rn_{eq}$	n.r.	0.01 < > 1.500	5 < > 200.000
	$^{210}Pb_{eq}$	n.r.	0.3 < > 230	0.005 < > 0.02
n.r= not reported غير مبلغ عنه،				

^{222}Rn: ينتج، خلال الاضمحلال الطبيعي، عدداً من النويدات المشعة (وليدات الرادون). حيث معظم وليدات ^{222}Rn قصيرة العمر، باستثناء $^{210}Pb_{eq}$، والذي لديه عمر نصف طويل نسبيا 22.6 سنة وينتج كمادة صلبة عند درجات الحرارة والضغوط السطحية. وتصبح معظم وليدات ^{222}Rn قصيرة العمر مرتبطة بالأيروسولات (aerosols) الموجودة في الغاز الطبيعي NG (أو الهواء المحيط)، والجسيمات المحمولة جوا أو الأسطح. عند المعالجة المطولة، يمكن أن يتراكم $^{210}Pb_{eq}$ على هيئة طبقات رقيقة على الأسطح الداخلية لمعدات معالجة الغاز مثل أجهزة غسيل الغاز، الضواغط، مضخات الارتداد، صمامات التحكم وخطوط الإنتاج. يبين الجدول 2 تراكيز نشاط النور المنشورة في الـ (NG) و (NGL) (بما في ذلك المكثفات الهيدروكربونية).

وعلى الرغم من وجود تراكيز مرتفعة من ^{222}Rn في (NG)، لا يمكن قياس أي إشعاع خارجي خارج خطوط النقل. وفي حالات استثنائية فقط تم قياس مستويات إشعاع مرتفعة في الغاز (المرافق) الموجود أعلى خزانات تخزين النفط الخام. وسرعان ما تختفي هذه المستويات من الإشعاع عند التهوية. عند الإطلاق غير المتحكم به للغاز الطبيعي، فإن أي مخاطر تتعلق بالتعرض ^{222}Rn ستحل محلها مخاطر الاختناق أو الانفجار.

7.1. النكليدات المشعة الطبيعية في صناعة النفط والغاز- النفايات السائلة

يمكن أن تختلف تراكيز نشاط النكليدات المشعة الطبيعية بشكل كبير من منشأة إلى أخرى اعتماداً على التكوين الجيولوجي والظروف التشغيلية، ويمكن أيضاً أن تتغير تبعا لعمر البئر. ويكون التركيز الإشعاعي في تدفقات المياه المنتجة المفصولة أقل بشكل روتيني بعدد من الرتب من التراكيز التي وجدت فيما بعد عند نقطة الترسيب المتراكم (الجدول 3 مقابل الجدول 4).

الجدول 3: مدى تركيز النشاط الإشعاعي لـ NOR المنشورة في المياه المنتجة.

	NOR	Bq[NOR]/L PW
سلسلة ^{232}Th	^{232}Th	0.0003 < > 0.001
	$^{228}Ra_{eq}$	0.3 < > 180
	$^{228}Th_{eq}$	0.5 < > 40
سلسلة ^{238}U	^{238}U	0.000 3 < > 0.1
	$^{226}Ra_{eq}$	0.002 < > 1,200
	$^{210}Pb_{eq}$	0.05 < > 190

في السنوات الأخيرة، كان هناك اهتمام متزايد بتراكيز نشاط النور في المياه المنتجة من الحقول على اليابسة المرتبطة بالمكامن «غير التقليدية» التي تم تطويرها باستعمال التكسير الهيدروليكي. وبما أن الظروف التي تؤدي إلى تراكمها هي في الأساس ذاتها في الآبار التقليدية، فمن المتوقع أن تتبع تراكيز نشاط النور منحى تركيز نشاط Th وU في مصدر الصخور التي تستخلص منها المياه الحبيسة. وبالتالي، يكون وسطي تراكيز نشاط النور في المياه المنتجة من المكامن غير التقليدية أعلى بحوالي 1,5 مرة (نسبة محتويات Th وU في الصخر الزيتي والحجر الرملي) مما هي عليه في المياه المنتجة التقليدية (الجدول 1). حتى الآن، لا تزال مجالات التراكيز المنشورة [9،10،11،12،13،14] ضمن المجالات المسجلة سابقا في الآبار التقليدية. وحسب المخطط الوارد في الشكل 3، فإن تراكيز ^{232}Th و$^{238}U_{eq}$ تكون منخفضة. أي أن كل ^{228}Th المنتجة في المياه الحبيسة يعاد امتصاصها بسرعة على حبيبات مادة المكمن. وبناء على ذلك، لن يكون 228Th موجود في المياه المنتجة ولهذا يعتمد تحليل محتويات (نسبة) $^{228}Th_{eq}$ إلى حد كبير على الوقت المنقضي بين أخذ العينة وقياسها. وعلاوة على ذلك، تعتمد نتائج تحليل المياه المنتجة غير التقليدية إلى حد كبير على الوقت المنقضي من بدء عمليات التدفق. في البداية (الأسابيع الأولى) سوف تعود مياه التكسير الهيدروليكي (ماء عكسي التدفق مع انخفاض في تراكيز نشاط النور) وبعد فترة من الوقت يختلط ماء التكسير الهيدروليكي مع الماء الحبيس الذي سيصاحب عملية الإنتاج. في المنشورات، لا يتم تناول هذا التمييز في

الغالب وكل الماء الذي يظهر على السطح يسمى المياه المنتجة. إذا ارتفعت تراكيز الأيونات الذائبة 15، فإن الدفق الرئيسي هو مياه التكسير الهيدروليكي المعادة أو تدفق المياه المعادة، وبمجرد أن يبدأ التركيز في الاستقرار، فإن مساهمة كبيرة من الماء الحبيس ستكون موجودة. وحسب المخطط الموضح في الشكل 3، فإن تراكيز $^{228}Ra_{eq}$، $^{226}R_{eq}$ و$^{210}Pb_{eq}$ قد تكون جوهرية.

8.1. النكليدات المشعة الطبيعية في صناعة النفط والغاز- تدفق النفايات الصلبة

في ظل ظروف معينة، يمكن للنكليدات المشعة الطبيعية أن تصبح مترسبة أو متراكمة داخل منشآت الإنتاج أو المعالجة كرواسب حرشفية أو حمأة مما يجعلها بصورة مختلفة، منتجات لحقول النفط ثانوية روتينية ومواد نفاية مشعة (نورم). من المهم التأكيد على أن النور يتكون كشوائب ضمن كتلة المواد والشبكات المعدنية. بما أن (^{226}Ra،^{228}Ra) يشبه كيميائياً Ba وSr وCa وMg فإن استعمال مثبطات الرواسب الحرشفية (Scale inhibitors) تلعب دوراً رئيسياً في الحد من النورم.

- تشمل التغييرات في الظروف التشغيلية التي يمكن أن تؤدي إلى تراكم النورم:
- تغيرات درجة الحرارة والضغط.
- تدفق متغير (الانتقال بين التدفق الخفيف والمضطرب).
- تمدد الغاز بسبب تغير قطر خط الأنابيب.
- اختلاف (الرقم الهيدروجيني) pH (زيادة في تركيز الكبريتات بسبب حقن السوائل الغنية بالكبريتات، أو خليط من المياه المنتجة المختلفة).
- وجود بلوارت بادرة على السطح الداخلي للمعدات وسطوح خشنة، (على سبيل المثال، في آبار الغاز الحامض، يتعزز وجود الرواسب الحرشفية النورم بوجود الجبس).

الجدول 4: مدى تركيز نشاط النور المنشورة في الرواسب الحرشفية والترسبات.

	NOR	Bq[NOR]/g[scale]	Bq[NOR]/g[deposit]
سلسلة ^{232}Th	^{232}Th	0.001 < > 0.002	0.001 - 0.07
	$^{228}Ra_{eq}$	0.05 < > 2800	0.05 - 300
سلسلة^{238}U	^{238}U	0.001 < > 0.5	0.001 - 0.05
	$^{226}Ra_{eq}$	0.1 < > 15,000	0.8 - 400
	$^{210}Pb_{eq}$	0.02 < > 75	0.05 < >2000

إن الأنواع الرئيسة للرواسب الحرشفية في منشآت النفط والغاز هي رواسب الكبريتات الحرشفية مثل $BaSO_4$، ورواسب الكربونات الحرشفية مثل $CaCO_3$. وبما أن Ra مماثل كيميائيا للـ Ba وCa فهو يترشب ترسيبا مشتركا معها وتشكل شوائب أثر داخل المكونات المعدنية.

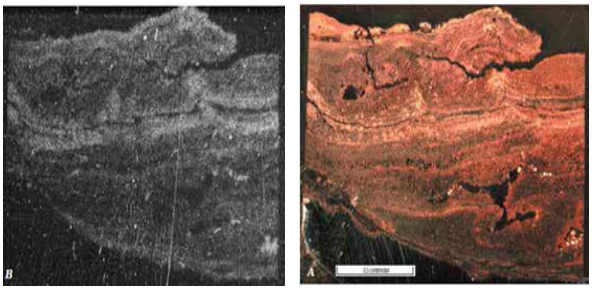
يوجد العديد من الطرق التي يمكن أن تجعل العمليات النفطية العادية في الحقول محفز لتكون الرواسب الحرشفية، قد يحتوي بعضها على النورم (الشكل 4). على سبيل المثال، فإن خلط مياه البحر الغنية بالكبريتات، بالماء المتكون الغني بالأملاح، يزيد من تكون الرواسب الحرشفية. يساهم التغير المفاجئ في الضغط ودرجة الحرارة أو حتى حموضة المياه المتكونة، عند وصولها إلى السطح في تكون الرواسب الحرشفية. يبين الشكل 3 تراكم الرواسب الحرشفية على الجدران الداخلية للأنابيب. تؤثر هذه الظاهرة في عملية إنتاج النفط والغاز، في هذه الحالة، تنخفض وبشكل كبير سعة الأنابيب لنقل النفط والغاز. نادراً ما تكون الرواسب الحرشفية متجانسة، وبالتالي ستكون وفرة تلوثات النور متغيرة.

يبين الشكل 5 صور اشعاعية ذاتية لعينة رواسب حرشفية، حيث يكون نشاط النورس في طبقات متغيرة. يقارن الجدول

4 تراكيز نشاط النور المنشورة في الروسب الحرشفية الصلبة الكبريتية/الكربونية والرواسب اللينة.

يمكن مشاهدة طبقات رقيقة جداً من ^{210}Pb في الأسطح الداخلية لخطوط نقل الغاز، وترتبط بوجود تراكيز مرتفعة نسبياً من غاز ^{222}Rn في NG مع طول فترة استعمال هذه الأنابيب.

الشكل 4: رواسب حرشفية متكونة داخل الانبوب (معدل جرعة وقدره 8 µSv/h) على السطح الخارجي.



الشكل 5: رواسب حرشفية مشعة مترسبة داخل أنبوب حقل نفطي وتوزع الراديوم ووليداته المصدرة لجسيمات ألفا في العينة ذاتها.

9.1. النور في صناعة النفط والغاز- الحمأة وبقايا عمليات الكشط (Scrapings)

تحتوي الحمأة وبقايا عمليات الكشط أيضاً على النورس المتكون داخل حبيبات معدنية دقيقة من الكبريتات والكربونات الرطبة بالنفط والتي هي في الأصل نفس العمليات التي تؤدي إلى تكون القشور الصلبة. كما يمكن العثور على نورس أخرى مثل $^{210}Pb_{eq}$ في بقايا عمليات كشط الأنابيب وكذلك الحمأة المتراكمة في قعر الخزانات، فواصل غاز/ نفط، حاويات التجفيف، صهاريج تخزين NGL وفي حفر النفايات وكذلك في بقايا عمليات كشط أنابيب النفط الخام.

يمكن أن تنتج بعض حقول الغاز مركبات Pb أو حتى Pb النقي تقريبا والملوث بـ $^{210}Pb_{eq}$ (أكثر من 1000Bq/g) [17،18،19،20]. إن العلامة المميزة لنظائر Pb المستقرة في تشكيل هذا النوع من الرواسب هو نموذجي جداً لحقول غاز/ نفط.

يبين الجدول 5 تركيز نشاط النور المنشورة في الحمأة وبقايا عمليات الكشط[6].

إلى جانب تلوث النورم والهيدروكربونات الثقيلة المختلطة معه، توجد أحيانا مستويات مرتفعة من الملوثات الأخرى، مثل الزئبق (Hg)، والتي لها مخاطر بيئية وصحية. يجب ألا ينظر للمسائل المتعلقة بإدارة النورم بمعزل، ولكن بالأخذ في الحسبان كل المكونات الموجودة.

الجدول 5: مدى تركيز النشاط الإشعاعي للنور المنشورة للحمأة وبقايا عمليات الكشط.

	NOR	Bq[NOR]/g[sludge]	Bq[NOR]/g[scrapings]
سلسلة ^{232}Th	^{232}Th	0.002 <> 0.01	n.r.
	$^{228}Ra_{eq}$	0.5 <> 50	0.01 <> 10
	$^{228}Th_{eq}$	n.r	n.r.
سلسلة ^{238}U	^{238}U	0.005 <> 0.01	n.r.
	$^{226}Ra_{eq}$	0.05 <> 800	0.01 <> 75
	$^{210}Pb_{eq}$	0.01 <> 1،300	0.05 <> 50
n.r. = not reported.			

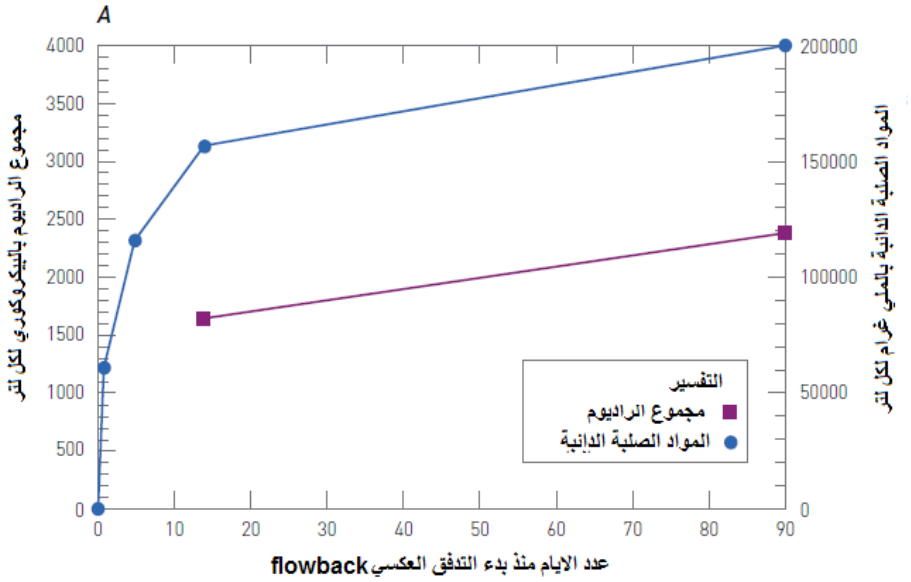
الشكل 6: حمأة خزان.

10.1. التفريغ في البيئة

كما سبق توضيحه، فإن نشاط النور في المياه المنتجة يكون منخفض جداً بشكل نموذجي. ولكن عندما يتم إنتاج كميات كبيرة من المياه المنتجة فإن تأثيرها التراكمي المحتمل يجب أن يؤخذ في الحسبان. فعلى سبيل المثال، تسبب صناعة النفط في بحر الشمال في حوالي 7,6TBq من انبعاث α و5TBq من انبعاث β (باستثناء التريتيوم) سنوياً[27]. ولإدراج ذلك في السياق، فإن انبعاث α هي أربعين ضعف من تلك التي يدونها قطاع الطاقة النووية، ولا يزال التأثير الإجمالي لهذه الانبعاثات موضوع مطروح للمناقشة.

إن تصريف المياه المنتجة في البحر سيمدد بسرعة النشاط الإشعاعي في المياه ككل [22،23]، وحتى الآن، لم يعطي البحث أي دليل على زيادة تراكم ^{226}Ra في الكائنات البحرية في بحر الشمال نتيجة طرح المياه المنتجة فيه[24]. أعطت محاولات قياس احتمالية حث الراديوم الموجود في المياه والرواسب لإحداث تأثيرات وراثية في الحيوانات الكبيرة والمتوسطة نتائج غير حاسمة [25،26]. ومع وجود مصادر متعددة للنويدات المشعة التي تدخل السلسلة الغذائية عن طريق الأسماك والمأكولات البحرية، تظل الآثار المحتملة على صحة الإنسان من المواضيع الجديرة بالاهتمام. وقد يؤدي التحكم بتشكل الرواسب الحرشفية وزيادة استعمال تقنيات فيضان المياه لتعزيز استخراج النفط أثناء تطوير المكامن الثالثية إلى زيادة كمية النور المطروحة نسبياً. ومع ذلك، فإن الخطر المتزايد على البيئة الذي يمكن أن يمثله ينبغي أن يقترن بانخفاض الاحتمالات الأخرى مثل خفض تعرض عمال الحقول النفطية المختصين في تنظيف المعدات الملوثة بالنور[27].

في السنوات الأخيرة، تزايد الاهتمام بمصير النور الناتجة عن عمليات النفط والغاز على اليابسة وخاصة من التمزيق الهيدروليكي للغاز والنفط غير التقليدي. وهنا، قد تكون حجوم المياه أكبر بعدة مرات من ماء المكامن التقليدية وتكون أيضا أنواع الصخور الهيدروكربونية مختلفة. الغضار الصفحي، على سبيل المثال، كثيراً ما يحتوي على وفرة أعلى من كل من اليورانيوم والثوريوم. ويمكن أن تحوي المياه المتدفقة الراجعة من الآبار غير التقليدية على مستوى مرتفع جداً من الملوحة وهذا يرتبط في كثير من الأحيان بمستويات مرتفعة من النور[28]. حيث توجد بعض الأدلة التي تقترح بأن وفرة النكليدات المشعة في المياه المتدفقة الراجعة غير مستقرة، مع ملاحظة أن المياه الأولية تحوي المستويات الأعلى (الشكل 7). وقد خلصت دراسات أخرى استندت إلى المكامن غير التقليدية في بنسلفانيا (الولايات المتحدة الأمريكية) إلى أن هناك احتمالاً ضئيلاً أو محدوداً لتعرض العمال وعامة الناس للإشعاع نتيجة تطوير، استكمال، إنتاج، نقل ومعالجة، تخزين واستعمال الغاز الطبيعي من حقول الغاز التي وفرت ضوابط تحكم كافية لإدارة السوائل في حالة تسربها [29].



الشكل 7: تبعية النور للزمن في المياه المتدفقة الراجعة من بئر غاز غير تقليدي، واشنطن USA.

2. المخاطر الصحية للنورم

وحدة النظام العالمي (SI) لقياس الجرعة (الطاقة) الممتصة هو غراي (Gray (Gy. واحد Gy يساوي 1 J/kg.

تكون الآثار الصحية للنورم تابعة للطاقة المنتقلة للجسم حيث تتبدد طاقة إشعاع α، β أو γ الإضافية في الخلايا الحية، مما قد يسبب ضرر خلوي وطفرات وراثية.

في الإطار الحالي للوقاية الإشعاعية [30,31]، جرى تقسيم الآثار الناجمة عن تعرض البشر للإشعاع إلى:

- التأثيرات الحتمية (*deterministic effects*) (التفاعلات الضارة للأنسجة) ويرجع ذلك في جزء كبير إلى قتل/قصور الخلايا، وفي بعض الأحيان تؤدي الكميات الكبيرة في ضرر العضو عقب الجرعات العالية.
- الآثار العشوائية *(stochastic effects)* أي السرطان والآثار الوراثية ويشمل إما تطور السرطان في الأفراد المعرضين بسبب طفرة في الخلايا الجسدية والأمراض الوراثية المنتقلة لنسلهم بسبب طفرات الخلايا التناسلية (بذرية). ويرتبط ذلك عادة بالتعرض الطويل الأمد والمنخفض المستوى.

تحدث الآثار الحتمية عند جرعات تتجاوز 0.5-1 Gy وتختلف هذه العتبات مع معدل الجرعة ونوع الإشعاع. تزداد خطورة التأثير بزيادة الجرعة ومعدل الجرعة. وترتبط الآثار الحتمية أساسا بسيناريوهات الحوادث في الصناعة النووية، الاستخدام الصناعي والطبي للمصادر ذات النشاط المرتفع ومولدات الأشعة السينية ومسرعات الجسيمات.

حتى في أسوأ السيناريوهات المتضمنة النورم في صناعة النفط، لم تصادف التأثيرات الحتمية أبداً، ويرجع ذلك وحسب الخبرة إلى الوفرة المنخفضة نسبيا وميل العديد من النورم للامتصاص الذاتي، حيث تمتص مصفوفة المعادن والمواد المحيطة الأخرى الطاقة من الاضمحلالات الكامنة.

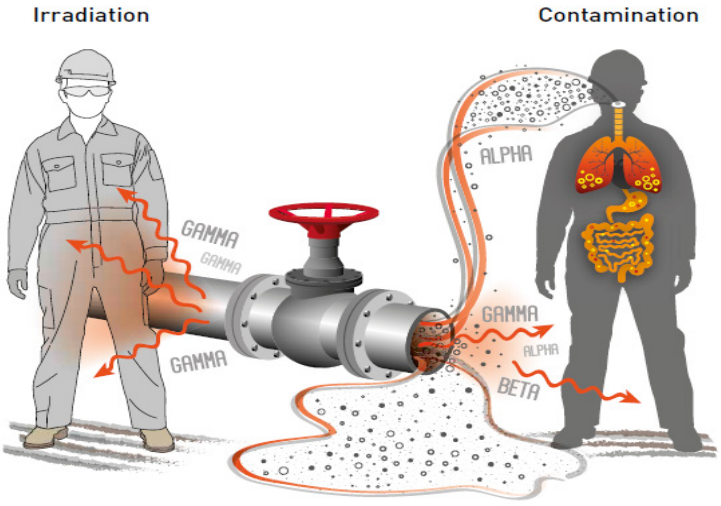
تتعلق الوقاية من الإشعاع في مجال النورم بشكل رئيسي بالتحكم الكافي بالتعرض للجرعات المنخفضة، وهو الوضع الذي قد ينتج عنه فقط التأثيرات العشوائية. وهنا، فإن الطاقة الممتصة وحدها غير كافية لتحديد الخطر، بل يجب أن نأخذ في الحسبان مقدار الضرر البيولوجي المتوقع من الجرعة الممتصة. فالأنواع المختلفة من الإشعاعات لها خصائص ضرر مختلفة والأنسجة المختلفة لديها قابلية متغيرة للضرر. يزودنا أخذ هذه العوامل في الحسبان بالجرعة الفعالة (القسم 2,2).

يستند النموذج الحالي للوقاية الإشعاعية بشكل رئيسي على الأدلة والافتراضات التالية:

- يمكن التعرض للإشعاع المؤين، حتى عند الجرعات المنخفضة، أن يحدث ضرراً للمادة النووية (جينياً) في الخلايا والتي يمكن أن تؤدي إلى تطور السرطان الناجم عن الإشعاع بعد سنوات عديدة (الآثار الجسدية)، والأمراض الموروثة في الأجيال المستقبلية، وبعض التأثيرات المتطورة تحت ظروف معينة.
- إحداث السرطان عن طريق إشعاع ذي انتقال طاقة خطي منخفض الذي تم إثباته بشكل قطعي في مدى الجرعات بحدود 100 mGy وأعلى، وحسب استنتاجات الدراسة التي قامت بها اللجنة العلمية المعنية بآثار الإشعاع النووي التابعة للأمم المتحدة UNSCEAR فإن دراسات حول إصلاح DNA والعمليات الخلوية / الجزيئية للإشعاع المكون للأورام لم توفر سبب مقنع لافتراض أن هناك عتبة جرعات منخفضة للحث على تكون الأورام عموماً.
- لم تظهر الأمراض الوراثية الناجمة عن الإشعاع في البشر ولكن هناك أدلة جوهرية من الدراسات على الحيوانات على وجود أضرار وراثية للخلايا البذرية (البويضات والحيوانات المنوية وكذلك الخلايا المورثة).
- بالنسبة لكل من السرطان الناجم عن الإشعاع والأمراض الوراثية هو احتمالية حدوث هذا التأثير، وليست خطورته التي تعتمد على الجرعة.
- نموذج الخطر العام للوقاية الإشعاعية هو أن خطر هذه التأثيرات العشوائية يزيد خطيا مع الجرعة، دون عتبة للجرعة (linear no-threshold or LNT model) .

1.2. مصادر التعرض

هناك طريقتان يمكن من خلالها أن يتعرض الأفراد للإشعاع المنبعث من المواد المشعة، بما في ذلك النورم وهي التشعيع (Irradiation) من مصادر خارجية والتلوث (contamination) باستنشاق أو ابتلاع المصادر (انظر الشكل 8).



الشكل 8: التعرض للنورم من مصادر داخلية وخارجية.

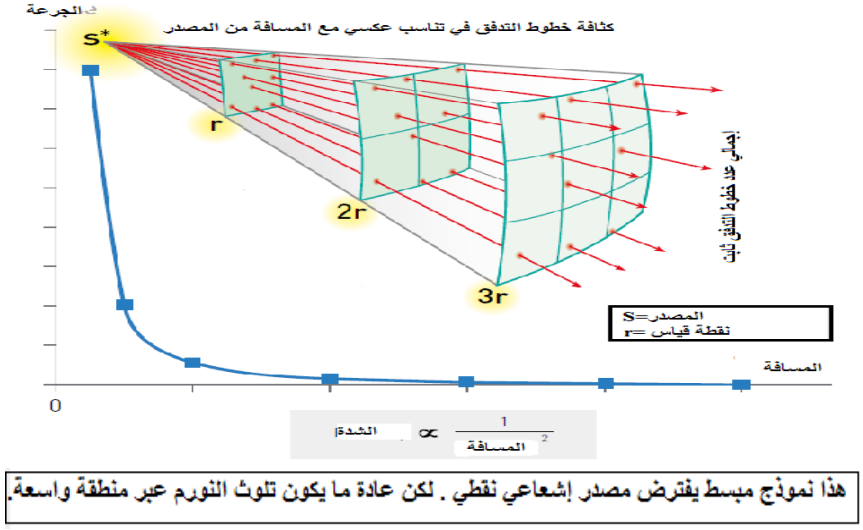
يحدث التشعيع من مصادر خارجية عندما تكون المادة الباعثة للإشعاع موجودة خارج جسم الإنسان. ويحدث التشعيع من المصادر الداخلية عندما تكون المادة الباعثة للإشعاع داخل جسم الإنسان. يمكن أن يحدث التلوث الداخلي بشكل رئيسي بسبب استنشاق أو ابتلاع مادة تحتوي على النكليدات المشعة مثل جزيئات الغبار.

يحدث التشعيع من مصادر خارجية قريبة من المصدر وينخفض مع المسافة، ويؤول إلى «الصفر» على مسافة معينة. في حالة النورم، عادةً ما يكون هذا على بعد أمتار قليلة من المعدات الملوثة، ويخضع لقانون التربيع العكسي، حيث تتناسب شدة الإشعاع عكسيا مع مربع المسافة عن المصدر (الشكل 9)، أي أن التعرض المطلق على بعد متر واحد سيكون أكبر بأربع مرات من التعرض على بعد مترين. ومع ذلك، فهذه النماذج تفترض وجود مصدر نقطي للإشعاع، بينما في الواقع،

تكون النورم موجودة على مساحة كبيرة. وهذا له تأثير على قياس منطقة المراقبة (Controlled Area) حول المواقع الملوثة بالنورم (القسم 7).

تؤدي المصادر الداخلية إلى تشعيع الأنسجة والأعضاء وتستمر بعد دخول النكليدات المشعة إلى الجسم. ويعتمد الحد من هذا التشعيع بشكل رئيسي على الخاصية الذاتية للنكليد المشع (عمر النصف) ومعدل الاطراح (حسب التركيب الكيميائي للملوث). ويعد التحكم في الغبار والوقاية من استنشاقه أثناء التعامل مع النورم هو بالتالي أحد الآليات الأساسية التي تحد من التعرض.

بالنسبة للمصدر النقطي، يكون التعرض المطلق عند متر واحد أكبر بأربع مرات من التعرض عند مترين. ومع ذلك، نادرا ما تصادف المصادر النقطية في ظروف التشغيل حيث يتراكم النورم عموما على مساحة معينة.



الشكل 9: تأثير قانون التربيع العكسي على التعرض.

2.2. الجرعة الفعالة

إن واحدة الجرعة الفعالة هي ذاتها للجرعة المتصة **J/kg**، وتعرف بالسيفرت **(Sv) sievert**. وكثيرا ما يعبر عنها بالنسبة لوحدة الزمن مثل لكل ساعة **(Sv/hr)** أو لكل سنة **(Sv/yr)**.

إن الكمية المستعملة للتعبير عن المخاطر الإشعاعية المرتبطة بالآثار العشوائية هي «الجرعة الفعالة». تعرف الجرعة الفعالة E بأنها:

$$E = \sum_{T} w_T \sum_{R} w_R D_{T,R}$$

حيث

W_T = معامل ترجيح للأنسجة – تعبر عن الحساسية من أجل ضرر الأنسجة المختلفة.

W_R = معامل ترجيح الإشعاع – تعبر عن الخصائص التدميرية لأنواع الإشعاع المختلفة.

D_T، $_R$ = متوسط الجرعة المتصة في الأنسجة T بسبب الإشعاع R ويعبر عنها بوحدة J/kg (gray (Gy)) or .

الجرعة الفعالة ذات أهمية خاصة في مجال الوقاية من الإشعاع حيث:

- تنطبق على جميع أنواع الإشعاع (X، γ، الإلكترونات، α، وما إلى ذلك).

- عادة ما يتم التعبير عن الحدود القانونية و«مستويات الحرص» بدلالة الجرعة الفعالة.
- ترتبط الوقاية من الإشعاع لسيناريو التعرض العام أو عمل محدد بشكل رئيسي بالجرعة الفعالة المقابلة.

نظراً لأنه لم يتم التحقق من الأعراض السريرية عند جرعات أقل من 100mSv، فلا يوجد برنامج عالمي للمراقبة الطبية للجرعات المنخفضة المتوقعة أن تصدر عن أنشطة العمل في النورم. وبمجرد تطبيق الممارسات الإدارية للنورم، نادرا ما يتلقى عمال صناعة النفط والغاز جرعات تتجاوز 1mSv/yr، وللتحكم المناسب، يتم عموما وضع بشكل مسبق مستوى الفعل في برنامج إدارة النورم، حتى تبقى الجرعة منخفضة بأدنى مستوى ممكن عملياً (- as low as reasonably practical ALARP) والتحقق من السبب الحقيقي لتجاوز مستويات هذه الحدود.

ومن الواضح أن كل من نوع الإشعاع ونوع التعرض يلعبان دورا في تحديد الجرعة الفعالة، حيث تكون لجسيمات α جرعة مكافئة أكبر من جسيمات β وإشعاع γ وكذلك يؤدي تعرض القولون أو الرئتين إلى جرعة فعالة أكبر من تعرض الجلد (حيث الخلايا الميتة من الجلد الخارجي تمتص جزءاً من الإشعاع). وللاطلاع على التفاصيل الكاملة لمعاملات الترجيح، راجع الملحق A (مستويات الترجيح للجرعة الفعالة).

على أية حال، لا يمكن قياس الجرعة الفعالة مباشرة، ومن الضروري استعمال طرق وكميات تمكن من تقدير الجرعة الفعالة بتحفظ. تختلف هذه الطرق في المقام الأول فيما يتعلق بالجرعات الناتجة عن مصادر خارجية أو داخلية.

3. دورة إدارة النورم

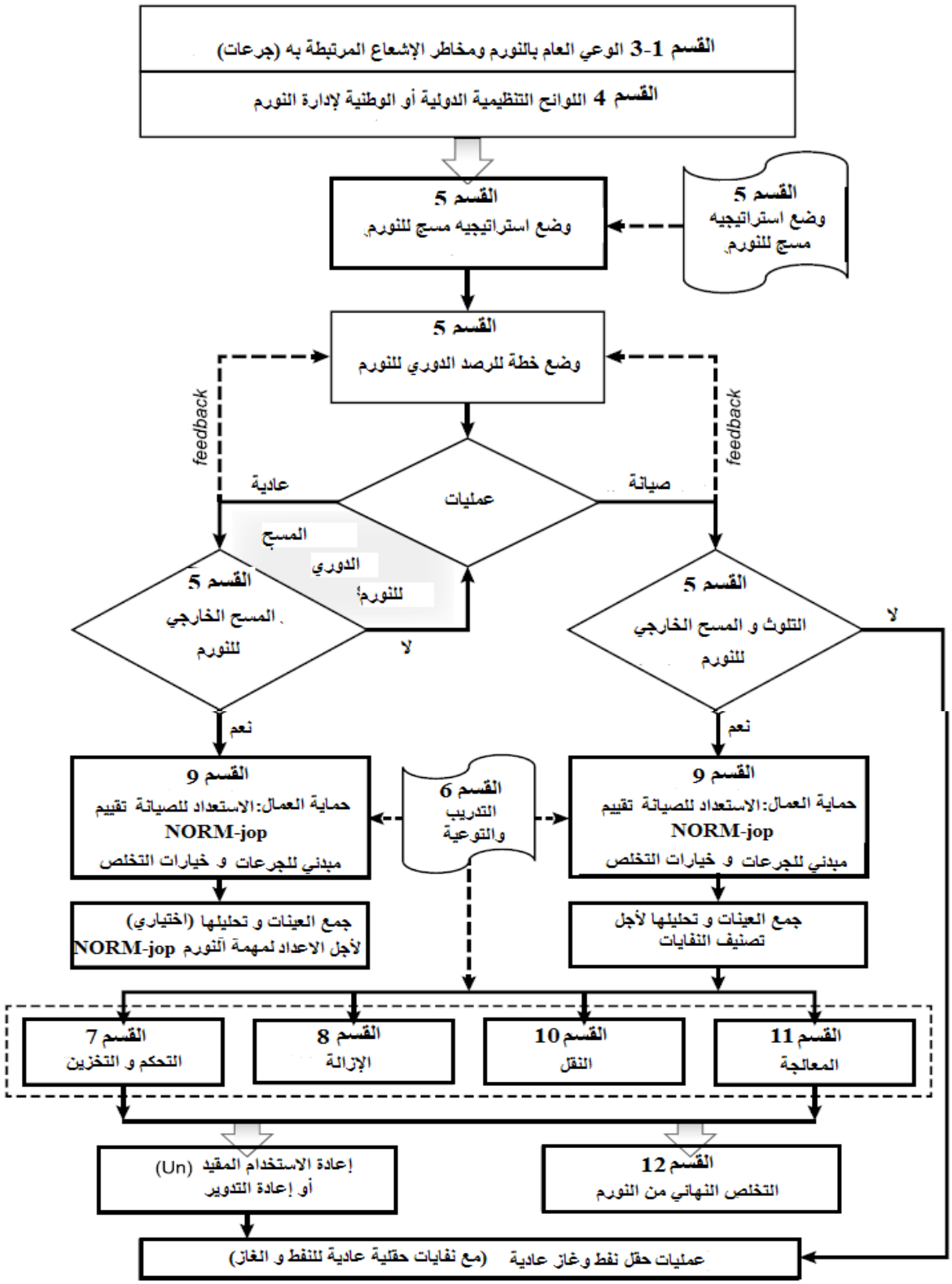
عندما يتوقع أن تشكل إدارة النورم جزءا من عمليات إنتاج النفط والغاز، يلزم الأمر وجود خطة إدارية لمراقبة وضبط المخاطر بطريقة مناسبة ومتناسبة مع التشريعات الوطنية والدولية ذات العلاقة.

جرى عرض تفاصيل دورة إرشادية في المخطط المبين في الشكل 10. إن هذا المخطط الانسيابي موضح بشكل عام ويتطلب العديد من المهام، والوثائق وأنظمة الدعم لتمكينه من العمل بفعالية. وكل ما يلي في هذا التقرير يعمل من خلال هذه الدورة.

تبدأ العملية بالحاجة إلى المراقبة الروتينية واختبار وجود النورم. حيث لا يمكن ملاحظة النورم مباشرة، ولكن يجب قياسه. وهذا ليس بالأمر السهل دائما، ويجب تحليله إلى عوامل في دورات تشغيلية وجداول صيانة. قد يحدث تراكم للنورم في معدات قد يتعذر الوصول اليها كثيراً من الأحيان. قد تكون الأسطح غير منتظمة، مما يجعل من استعمال الأجهزة التقليدية صعبا. يمكن للامتصاص الذاتي تغطية وجود النورم الحقيقي أو قد يكون مختلط مع النفايات الأخرى والمواد الخطرة. اختيار المعدات سوف يؤثر في القدرة على كشف النورم بأنواع مختلفة وفي ظروف مختلفة. يجب أن تكون خطة المراقبة مناسبة للترتيب وقابلة للتحديث الدوري، وخاصة عندما يتم إجراء تغييرات أخرى على العملية (مثل حفر جديد).

من الضروري وضع استراتيجية لإدارة النورم. جرى تفصيل المجالات الرئيسة التي يتعين أخذها في الحسبان في الأقسام من 4 إلى 12.

من المهم عند تخطيط وتنفيذ خطة إدارة النورم أن يتم التشاور وإشراك أصحاب المصلحة، وخاصة قد تكون موافقة السلطات التنظيمية مطلوبة. ونظرا للطبيعة المثيرة للجدل للمواد المشعة والنشاط الإشعاعي، والدرجة العالية من المعرفة التقنية التي تكون في بعض الأحيان مطلوبة، فأنه قد يكون من الضروري أحيانا إشراك متعهدين متخصصين مستقلين في خطة المراقبة.



الشكل 10: دورة إدارة النورم.

4. اللوائح التنظيمية للنورم

تختلف اللوائح التنظيمية من بلد إلى أخر. جرى اعداد هذا القسم ليكون بمثابة إرشادات عامة. من المهم أن تعكس أي خطط محددة مكان النورم (مثل البقع في معدات التشغيل حيث يفضل النورم الترسب فيها) وجميع اللوائح أو القوانين الوطنية والدولية السارية.

في العام 2007، أوصت اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع International Commission on Radiological Protection (ICRP) بجرعة للعموم (خطر) بحد 1mSv/y مضافة لجرعة الخلفية الطبيعية (background dose) (≈ 2.4mSv/y). ويعامل العاملون العاديون في قطاعي النفط والغاز كأفراد من العموم لتعرض محدد (2000h/yr). جرى تضمين هذه التوصيات في معايير الأمان الأساسية (Basic Safety Standards - BSS) الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) [33]، والتي تم مواءمتها بشكل كبير مع التشريعات الصادرة عن الاتحاد الأوروبي EU [34].

تعتبر معايير الأمان الأساسية الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية مجالات "التعدين ومعالجة المواد الخام التي تنطوي على التعرض للمواد المشعة"، بما في ذلك صناعة النفط والغاز، ممارسة في حالة التعرض المخطط له، في حين أدرجت لوائح الاتحاد الأوربي صناعة النفط والغاز في "قائمة تضم 16 قطاعا صناعيا يتضمن النورم". في أحدث مسودة للتشاور، ذكرت الـ ICRP أن "مصادر الإشعاع الطبيعي (على سبيل المثال النورم) يمكن استبعادها من نطاق توصياتها بمجرد أن يكون تركيز النشاط لكل النور أقل من 1Bq [NOR]/g". تم تضمين هذا البيان في الـ BSS لكل من EU وIAEA نصياً كالآتي: قيم الإعفاء أو رفع الرقابة بالنسبة للنورس في المواد الصلبة وهي على توازن أبدي مع وليداتها من أجل سلسلتي اضمحلال ^{232}Th و^{238}U هي 1Bq[NOR]/g.

بناء على ذلك، **"العنصر أو المواد التي يتجاوز فيها تركيز نشاط نور 1Bq/g، عندما يكون النور عضو في سلسلة اضمحلال ^{232}Th أو ^{238}U، يمكن تعريفها على أنها نورم (NORM)"**.

وستكون تدفقات إنتاج النفط والغاز المنتجة لمواد صلبة حاوية على تركيز نشاط إشعاعي أقل مما ذكر أعلاه خارج النطاق. ومع ذلك، بالنسبة لتراكيز نشاط أعلى إلى حد ما توفر BSS قائمة بتراكيز النشاط المعفاة (الجدول 6). وقد تم حساب هذه التراكيز المعفاة على أساس سيناريوهات تطبق عمليا والتي تنطوي على استعمال قدر صغير من المواد، حيث تكون الكميات المستعملة في حدود الطن على الأكثر[35].

لا توفر BSS تراكيز معفاة عامة للنفط الخام والمياه والغاز الطبيعي. حيث من أجل مياه الإنتاج يكون العامل المحدد بشكل عام هو تركيبها وملوحتها، كقاعدة عامة، يمكن تطبيق القيم الواردة في الجدول 6 بواحدة Bq/L للطور المائي. لذلك، يمكن معاملة مياه الإنتاج التي يقل تراكيزه عن 10Bq[^{228}Ra]/L، 10 Bq[^{226}Ra]/L and/or 10 Bq[^{210}Pb]/L على أنه معفى.

تحدد IAEA وEU مستوى مرجعي وقدره 1000Bq[^{222}Rn]/Nm^3[air] و300Bq[^{222}Rn/Nm^3[air] للتعرض المحتمل للرادون في مكان العمل على الترتيب. يصبح الوصول إلى هذه التراكيز ممكناً عندما يختلط الغاز الطبيعي مع الهواء المحيط، لكن في مثل هذه الحالة تصبح مستويات الانفجار أو الاختناق هي الخطر الأكثر احتمالا.

ينصح دائما بالتحقق من لوائح النورم مع السلطة المختصة، ولكن في حالة غياب لوائح للنورم، يمكن تطبيق تراكيز النشاط المذكورة في الـ BSS الخاصة بمستويات الاعفاء للكميات المعتدلة كأفضل ممارسة.

الجدول 6: تراكيز النشاط الإشعاعي المعفاة لكميات معتدلة من المواد بدون مزيد من الدراسة.

Bq/g	النور في حالة التوازن الأبدي أو انتقالي مع (النور ذات العلاقة يشار إليها ب(NOR_{eq})	
	كامل سلسلة الاضمحلال الطبيعية	$^{232}Th_{nat}$
10	^{228}Ac	$^{228}Ra_{eq}$
1	$^{224}Ra^{220}$ ،Rn^{216} ،Po^{212} ،Pb^{212} ،Bi^{212} ،$Po/^{208}Tl$	$^{228}Th_{eq}$
	full natural decay series	$^{238}U_{nat}$
10	$^{234}Th^{234}$ ،mPa^{234} ،U^{230} ،Th	$^{238}U_{eq}$
10	$^{222}Rn^{218}$ ،Po^{214} ،Pb^{214} ،Bi^{214} ،Po	$^{226}Ra_{eq}$
10	$^{210}Bi^{210}$ ،Po	$^{210}Pb_{eq}$

5. مراقبة النورم

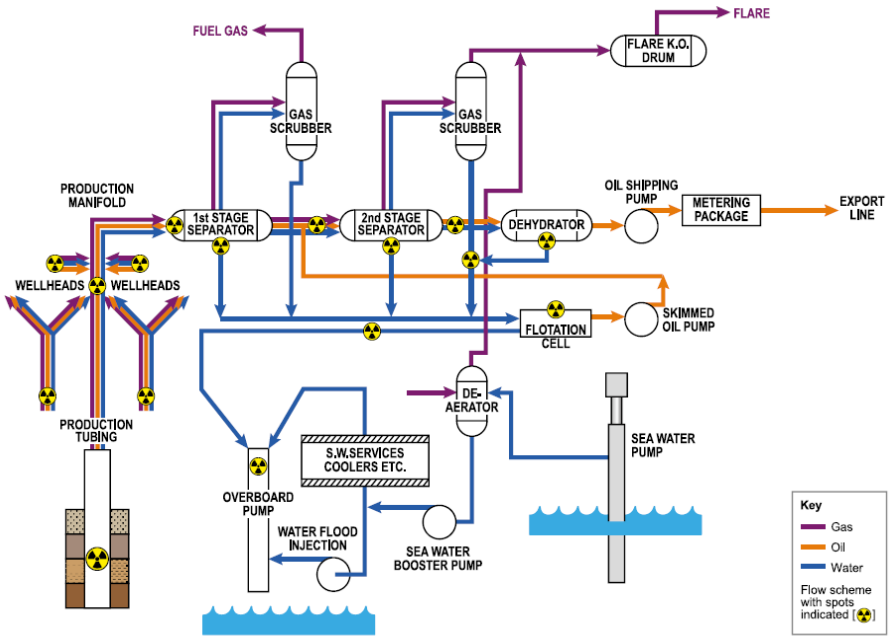
تقاس طاقة الإشعاع المؤين بالإلكترون فولت **(eV)**. إن واحد إلكترون فولت كمية صغيرة للغاية من الطاقة وبذلك فالواحدة الأكثر شيوعا هي وحدات مضاعفات الكيلوالكترون فولت **(keV)**

توجد أجهزة متنوعة لمراقبة الإشعاع المؤين أو التلوث الإشعاعي في الموقع، بما في ذلك بعض الأجهزة المطورة خصيصا للاستعمال في مرافق إنتاج ومعالجة النفط والغاز. ومع ذلك، لا يوجد جهاز واحد قادر على كشف جميع أنواع الإشعاعات (α، β، γ) وطاقات جسيمات α وβ وفوتونات γ المنبعثة من النورم. ولذلك، من المهم الاختيار بعناية وتوفير أجهزة مناسبة وفعالة للكشف عن النورم في الظروف التشغيلة والصيانة.

إن الجزء الأساسي من جهاز مراقبة الإشعاع هو الكاشف الذي يحدث فيه التأين بسبب مقدرة الإيقاف الامتصاصية لجسيمات α وβ أو فوتونات γ. يجب أن تركز الكواشف على خصائص الإشعاع المنبعث من النورس الموجود في صناعة النفط والغاز. انظر الملحق D (خصائص الاضمحلال والإشعاع لسلسلتي ^{232}Th و^{232}U).

في ظل الظروف التشغيلية،ُتمتص جميع جسيمات α وβ بجدران خطوط الأنابيب والمرافق الأخرى، وبذلك يمكن الكشف فقط عن فوتونات γ «الإشعاع الخارجي». ومع ذلك، فإن فوتونات γ حتى حوالي 200keV أيضا سيتم امتصاصها في الغالب ضمن جدار فولاذي سمكه 1,5 cm. يمكن أن تعبر فقط الفوتونات ذات طاقات تتجاوز 200keV من المرافق التشغيلية، ولهذا السبب يمكن الكشف عن الرواسب الحاوية على $^{226}Ra_{eq}$ (عبر ^{228}Ac) و$^{226}Ra_{eq}$ والسلاسل الفرعية (عبر ^{214}Pb و^{214}Bi) (الملحق D) بمقاييس معدل الجرعة (انظر 1,1,5 و2,1,5) في مسح النورم الخارجي. إذا كانت هذه الرواسب تتقادم، فإن مستويات الإشعاع ستزداد ولكن ليس بالضرورة بسبب تراكم الرواسب الحاوية على Ra فقط، ولكن أيضا بسبب نمو السلسلة الفرعية لل ^{228}Th (عبر ^{208}Tl، ^{212}Bi، ^{212}Pb؛). وتجدر الإشارة إلى أنه لا يمكن الكشف عن رواسب ^{210}Pb (ماعدا $^{226}Ra_{eq}$) أو التلوث الداخلي ^{210}Pb بواسطة مسح النورم الخارجي حيث تنبعث فقط فوتونات γ منخفضة الطاقة.

لتحديد ما إذا كانت منشأة ما تراكم النورم أو لا، يجب إجراء مسح للنورم وعلى الأرجح أخذ عينات وتحليلها. ويبين الشكل 11 مخطط توضيحي لمرفق إنتاج ومعالجة للنفط والغاز في حقل بحري. جرى الإشارة إلى مواقع تراكم محتمل للنورم (على سبيل المثال قرب الثقوب عند رؤوس الآبار كرواسب حرشفية أو داخل فواصل الغاز / النفط كحمأة) بعلامة الإشعاع (radiation trefoil). ينبغي استغلال هذا النوع من المعرفة بدمجها مع أي سجلات تاريخية لتراكم النورم في أي مسح للنورم مخطط له.



الشكل 11: مخطط توضيحي لحقل بحري لإنتاج النفط والغاز.

يعتمد معدل الجرعة الإشعاعية الخارجية النهائي الذي يمكن الكشف عنه حول المنشأة على متغيرات كثيرة إضافة إلى المشار إليها سابقا. على سبيل المثال، الكمية والتوزيع المكاني للنورم داخل المنشآت. وبالتالي، فإنه من المستحيل تحويل معدل الجرعة المقاس إلى تلوث السطح الداخلي أو تركيز النشاط الإشعاعي. ينبغي استعمال معدلات الجرعة المقاسة على مقربة من محيط المنشآت لتحديد ما إذا كان هناك رواسب حرشفية ملوثة بالنور أو حمأة موجودة في المنشآت (عند التحضير لعمليات التنظيف)، في حين يمكن استعمال معدل الجرعة المقاس على ارتفاع 1m ومسافة 1m من المنشأة لغايات تقييم جرعة العمال التشغيلية.

في ظل ظروف الصيانة و/ أو أخذ العينات، قد نفترض بسهولة أن جميع العينات أو الأجسام ملوثة السطح من صناعة النفط والغاز مغطاة ب 50μm (أو أكثر سمكاً) من النفط / الوحل. وبالتالي، فإن الكشف عن جسيمات α لن يكون ممكنا لأن مداها في النفط هو 5μm فقط. أما جسيمات β ذات طاقات تقل عن 200keV فسوف تكون في الغالب غير قادرة على الوصول إلى مسبر الكاشف مع أن مسابر الكاشف قد تكون قريبة، ولكن لا ينبغي أن تلمس العينة. يمكن الكشف عن جسيمات β ذات الطاقة العالية والتي مداها في النفط متفاوت بين 1mm (500keV) إلى 5mm (1MeV). افتراضياً، يمكن لكافة فوتونات γ الإفلات فعليا من مثل هذه العينة. ولذلك، ولتحديد فيما لو كانت العينة أو جزء من المنشأة ملوثة بالنورس يمكن استعمال كلا الكاشفين β وγ، حيث على الرغم من بعض آثار الامتصاص بشكل عام فإن الكشف عن β هو الخيار الأكثر حساسية.

في هذه الحالة، يمكن الكشف عن العينات أو أجزاء المنشآت التي تحوي السلاسل الفرعية (^{228}Ac[β/γ]) و$^{226}R_{aeq}$ عبر (^{214}Pb[β/γ]، ^{214}Bi[β/γ])، لكن أيضا السلسلة الفرعية $^{210}Pb_{eq}$ عبر (^{210}Bi[β]) بأجهزة مراقبة التلوث السطحي (ملحق D و3, 2, 5). كما يمكن كشف تقادم العينات أو التلوث السطحي عن طريق السلاسل الفرعية $^{228}Th_{eq}$ (^{212}Bi[β/γ،^{212}Pb[γ])، (^{208}Tl[β/γ]

1.5. أجهزة مراقبة الإشعاع

يمكن تمييز أربعة أنواع مختلفة من أجهزة مراقبة الإشعاع:

① مقاييس معدل الجرعة - يقيس التعرض الخارجي المحتمل، يقرأ ب μSv/h (أو µGy /h). انظر 5.1.1

② مقاييس الجرعات - يشير إلى التعرض الخارجي التراكمي، يقرأ ب μSv أو (mSv) لكل فترة تعرض أنظر5.1.2

③ مقاييس التلوث السطحي - يقيس كمية المادة المشعة الموزعة على سطح، ويقرأ ب عدة لكل ثانية (c/s or cps) أو لكل دقيقة (c/min or cpm) انظر الفقرة 5.1.3

④ مقاييس التلوث المنقول جوا ومقاييس مراقبة الغاز – يقيس (بشكل غير مباشر) العوالق المنقولة جوا والحاوية على النورم أو تركيز الرادون في الهواء؛ يشير إلى التعرض الداخلي المحتمل. انظر 5,1,4

يتوفر عدة أنواع من الكواشف: حجيرات التأين (مملوءة بالغاز، الاستجابة متناسبة مع امتصاص طاقة γ / β)، العدادات التناسبية (مملوءة بالغاز، الاستجابة متناسبة مع امتصاص طاقة γ / β)، عدادات غايغر مولر (Geiger–Muller (MG (معدل عد غازي مرتبط بشدة الإشعاع ولا يعتمد على الطاقة الممتصة)، العدادات الوميضية scintillation counters (حساسة للغاية لفوتونات γ، على الرغم من وجود وماضβ– β–scintillators في الاسواق أيضا)، عدادات الحالة الصلبة ((solid state counters (مطياف γ عالي مقدرة الفصل).

1.1.5. مقياس معدل الجرعة

تعتمد استجابة أي مقياس معدل جرعة على خصائص الكاشف الذي يحويه، وبالأخص كفاءة كشفه عند طاقات الإشعاع الذي يتعرض له. وقد يكون للجهاز كفاءة كشف جيدة على مجال من طاقات الإشعاع وتنخفض هذه الكفاءة إلى (تقريبا) الصفر عند أقصى مدى للكشف. إذا كانت كفاءة الكاشف رديئة، فإن جهاز الكشف يشير إلى قراءات صفرية مهما كانت معدلات الجرعة الفعلية الممكن إنتاجها. على سبيل المثال، قد يكون الجهاز الذي يعطي قراءة دقيقة لمعدلات الجرعة لفوتونات γ ^{214}Bi بطاقة Eγ = 609keV، يمكن أن يكون غير حساس لمعدلات الجرعة لفوتونات γ من ^{210}Pb بطاقة Eγ= 47keV.

يتوافق مقياس معدل الجرعة المناسب والفعال لوظيفة محددة وقادر على قياس التعرض الخارجي مباشرة. ويمكن قياس معدلات الجرعة في مدى µSv / h بقرب تراكمات النورم داخل المنشآت (على سبيل المثال، أسفل فاصل المرحلة الأولى). يمكن استعمال أجهزة ذات مسابر حساسة قادرة على قياس معدل جرعة منخفضة لإشعاع γ (معدل جرعة الخلفية عند مستوى سطح البحر حوالي µSv/h 0,05) للمراقبة خارج المنشآت التشغيلية لكشف معدلات جرعة معززة التي من شأنها أن تشير إلى تراكم رواسب حرشفية أو وحل ملوثة بالنورم في الداخل.

يستند العديد من مقاييس معدلات الجرعة على كواشف MG من نوع تعويض الطاقة؛ حيث تتوافق خصائص حساسية/ طاقة أنبوب MG مع خصائص امتصاص/ طاقة. إن مقاييس معدل الجرعة المزودة ببلورة ومضان أكثر حساسية بكثير لكشف فوتون γ من كاشف MG الغازي. وأصبحت مقاييس معدل الجرعة متاحة بصورة متزايدة. يمكن لخبراء الوقاية من الإشعاع استعمال كواشف الحالة الصلبة التي تجمع بين إمكانيات قياس معدل الجرعة وقياس طيف γ. ومع ذلك، وبما أن مقاييس معدلات الجرعة سوف تستعمل عموما في الأجواء المتفجرة أو القابلة للاشتعال، فمن الضروري أن تكون آمنة ذاتيا، أو مقاومة للانفجار أو أن الإجراءات التي وضعت في المكان تضمن أن الأجواء القابلة للاشتعال غير موجودة أثناء استعمال الجهاز.

2.1.5. مقاييس الجرعات

هناك أنواع مختلفة من مقاييس الجرعات للمراقبة الفردية مصممة بشكل عام لتكون مثبتة بشكل واضح على الثوب الواقي أو يتم ارتداؤها في الحزام، والتي تسجل تراكم الجرعة الكلية على مدى فترة التعرض. في الوقت الحاضر، يوجد نماذج جديدة من مقاييس الجرعات قادرة أيضا على قياس معدلات الجرعة وتسجيل البيانات، حيث يمكن أن يكون تسجيل البيانات متزامن مع انجاز العمل مفيد جدا لتحليل حالات التعرض الفعلية. توفر مقاييس الجرعة الشخصية الالكترونية مباشرة القراءة electronic personal dosimeters (EPD's) منبه يشير إلى الجرعة العالية أو معدل جرعة في تعرض غير ملاحظ.

تسمى أجهزة (EPD's) كواشف «فعالة» التي يجب أن تكون آمنة ذاتيا ومجهزة بشكل رئيسي بأنبوب GM، على الرغم من توفر كواشف الحالة الصلبة حاليا. يجب أن ندرك أن العديد من السلطات المختصة تقبل فقط قراءات مقياس جرعة التألق

الحراري «المنفعل» Thermo-Luminescent Dosimeter (TLD) كسجل جرعة رسمي، في حين يمكن أن تستعمل تلك التي سجلها EPD's للتحسين داخل الشركة.

3.1.5. مقاييس مراقبة التلوث السطحي

عادة ما تصمم أجهزة مراقبة التلوث السطحي لقياس أنواع محددة من الإشعاع وغالبا ما يكون لها كفاءة كشف مثلى على مدى محدود من طاقات الإشعاع. على سبيل المثال يمكن للكاشف أن يستجيب فقط لفوتونات γ أوإشعاع βوγ. ويمكن أيضا أن تكون ذات أداء أفضل في كشف جسيمات β عالية الطاقة أكثر من تلك منخفضة الطاقة، أو قد تكون مصممة للكشف عن الطاقة المنخفضة لفوتونات γ لكن ليس للطاقات العالية. وبهذا المعنى، يتم حاليا تسويق أجهزة جرى أمثلتها لكشف تلوث النور. تحتاج معظم أجهزة مراقبة التلوث السطحي للمعايرة لنوع وطاقة الإشعاع (على سبيل المثال، نكليد مشع واحد) المراد الكشف عنه، قبل تحويل القراءات إلى وحدات ذات معنى (Bq/cm^2). وبما أن النورم يتشكل دائما من مجموعة من النورس بنسب مختلفة، فإنه من المستحيل تحويل القراءات بدقة إلى Bq/cm^2، لذلك وبشكل عام ستكون القراءات عدة لكل وحدة زمن، حيث يمكن أن يكون تعداد جهاز مراقبة التلوث السطحي الحساس لكل من β / γ ناتج عن امتصاص جسيم β أو فوتون γ.

تشتمل أجهزة مراقبة التلوث السطحي عموما على كاشف β-الغازي مزوّد بنوافذ رقيقة قابلة للكسر. وتتوفر أجهزة مراقبة مزودة بكواشف β بلاستيكية وميضية أكثر حساسية، تعتمد على سمك الوماض وربما يكون حساس لفوتونات γ. يمكن استعمال أجهزة مراقبة تلوث β للكشف عن النورم بعد أخذ العينات أو حالما يتم الوصول إلى السطوح الداخلية للمنشأة. وفي أفضل الأحوال، يوفر قياس تلوث β مؤشرا موثوقا بأن هناك حاجة لتدابير الوقاية من الإشعاع. في كثير من الأحيان، يتم تطبيق معيار عدة/ ثانية مرتين إلى ثلاثة أضعاف الخلفية الإشعاعية الطبيعية كمستوى مميز للإشارة إلى ما إذا كان سطح الجسم ملوث بالنورس. ويمكن استعمال المعيار ذاته للعينات الممثلة للوسط، ولكن غالباً ما تطلب السلطة المختصة تحليل طيف γ من قبل مخبر معتمد لتحديد وجود النورس وكمياته من أجل التحقق من الحدود المسموح بها.

في بعض الأحيان، تستعمل أجهزة مصممة خصيصا لمراقبة تلوث النور السطحي في ظروف محددة؛ حيث يمكن توجيه كاشف β أسطواني الشكل من خلال خطوط التدفق. يمكن أيضا استعمال أجهزة الكشف عن إشعاع γ (إما مقاييس معدل جرعة حساس أو مقاييس التلوث) لكشف تراكمات النورم داخل المنشآت. وبما أن جميع أجهزة مراقبة التلوث السطحي هي أجهزة كشف «فعالة»، ينبغي أن تكون آمنة ذاتياً، أو مقاومة للانفجار أو أن الإجراءات التي وضعت في المكان تضمن أن الأجواء القابلة للاشتعال غير موجودة أثناء استعمال الجهاز.

4.1.5. أجهزة مراقبة تلوث للنشاط الإشعاعي المحمول جواً

تحتاج أجهزة قياس التلوث المحمول جواً إلى تقييم متخصص، وبالتالي نادراً ما تستعمل في صناعة النفط والغاز. هذه الأجهزة عادةً ما تسحب الهواء المحتمل تلوثه (على سبيل المثال الغبار الناتج عن عمليات إزالة الرواسب الحرشفية) بمعدل ثابت من خلال فلتر، من أجل مراقبة مصدرات α المحمولة جوا بشكل رئيسي، بما في ذلك وليدات الرادون. يمكن أيضًا استعمال أجهزة أخذ عينات الهواء الشخصية القائمة على استعمال فلتر كمقاييس جرعات شخصية (استنشاق)، ولكن يجب تحليل الفلتر في مختبر خارجي، حيث لا توفر النتائج سوى تقييم بأثر رجعي لظروف العمل.

يمكن أخذ عينات الغاز الطبيعي وقياسها لتحديد تركيز ^{222}Rn في الغاز الطبيعي باستعمال طريقة خلية لوكاس. خلية لوكاس مطلية داخلياً بومّاض α (يصدر Rn_{eq} ثلاث جسيمات -α، لا سيما بواسطة اضمحلال ^{222}Rn، ^{218}Po و^{214}Po، الملحق D) وهي محكمة للضوء ومتصلة بأنبوب مضخم ضوئي. وبمجرد أن تتم معايرة الخلية/ أنبوب المضخم الضوئي جيداً، يمكن إجراء مثل هذه التحاليل بسهولة في مخابر الإنتاج.

5.1.5. المراقبة في الممارسة

في ظل ظروف التشغيل العادية:

يجب تطبيق مقياس معدل جرعة آمن ذاتيا أو مقاوم للانفجار (μSv/h) أنظر (5 ,1 ,1) لمراقبة معدل الجرعة الخارجية حول الأجزاء الملوثة (المحتملة). في الوقت الحاضر، يمكن استعمال مقاييس معدل الجرعة مثل EPD (μSv/job) أنظر (5 ,1 ,2).. أما التطبيقات و/أو شروط القياس فهي، على سبيل المثال:

الاستعداد للعمل: قياس معدل الجرعة في المحيط الخارجي لمنشآت التشغيل. إذا تجاوز معدل الجرعة المقاسة ضعف معدل الجرعة للخلفية الإشعاعية بسبب بيئة الإشعاع الطبيعي، يكون الجزء الداخلي للمنشأة المراقبة ملوث بالنورس، وينبغي تصنيف أي عمل داخل هذا المنشأة كعمل متعلق بالنورم. **ملاحظة:** لا يمكن قياس ^{210}Pb بهذه الطريقة عندما يكون Pb (الرصاص) متوقعاً، ينبغي أخذ قياسات داخليا بكاشف حساس لانبعاث β قبل إجراء العمل.

تقييم جرعة العمال: قياس معدل الجرعة على مسافة 1 متر من محيط أجزاء المنشآت الملوثة بالنورم وارتفاع 1 متر ومع تحديد فترات الإقامة، يمكن تقييم الجرعة الخارجية المحتملة لعمال الصناعة مسبقاً (تقييم مخاطر الإشعاع)؛ بناء على نتائج التقييم المسبق، قد يتقرر ما إذا كان على العامل حمل بطيقة TLD أثناء عمله .

مراقبة جرعة العامل: قد يرتدي المشغل TLD أو EPD أثناء عمله في جميع المهام المرتبطة بالعمل – وبعد حوالي شهر فإن جرعة العامل المهنية المرتبطة بالعمل المنجز قد تستنتج (من خلال طرح جرعة الخلفية الطبيعية). بما أن العديد من EPDs مجهزة بخيارات التسجيل، وهي مناسبة بشكل ممتاز لتحليل ما الخطوات المسببة للتعرض الفعلي من عمل معين، حتى يتم الحفاظ على الجرعة. ALARP

يمكن استعمال جهاز مراقبة للتلوث السطحي مأمون ذاتيا أو لا يتأثر بالانفجار (عدة/ ثانية؛ انظر 5 ,1 ,3) لفحص المواد المأخوذة من منشآت التشغيل لوجود النورس. تشمل التطبيقات تسريبات المياه المنتجة الجافة، والأسطح المحيطة/ من محطات استقبال، والتسرب حول نقاط أخذ العينات، وما إلى ذلك. تجدر الإشارة إلى أنه قد يلاحظ قرب الهياكل الخراسانية تزايد قليل في قيم الخلفية الطبيعية بسبب محتويات البوتاسيوم (بما في ذلك ^{40}K) في الخرسانة.

تحت شروط الصيانة أو /وشروط التنظيف

يجب تطبيق مقياس معدل جرعة آمن ذاتيا أو مقاوم للانفجار (μSv/h) أنظر (5 ,1 ,1) لمراقبة معدل الجرعة الخارجية ومراقبة التلوث السطحي (عدة/ ثانية؛ انظر 5 ,1 ,3) لمراقبة مستوى التلوث داخل أجزاء المنشآت. التطبيقات أما التطبيقات و/أو شروط القياس فهي، على سبيل المثال:

الاستعداد للعمل: قياس معدل الجرعة ومستويات التلوث عند الأسطح الداخلية لمنشآت التشغيل. إذا تجاوز معدل الجرعة المقاسة ضعف معدل جرعة الخلفية بسبب البيئة الإشعاعية الطبيعية ينبغي أخذ عينات وتحليل طيف أشعة γ من أجل النقل وتصنيف التخلص. استناداً إلى نتائج التحليل يجب إجراء تقييم لمخاطر الإشعاع مع أخذ جميع مسارات التعرض المحتملة (الخارجية، والاستنشاق، والابتلاع، وتلوث الجلد) في الحسبان، وينبغي وضع استراتيجية لأي مادة تم إزالتها من أجزاء المنشأة. إذا تجاوزت قراءات تلوث السطح فقط الخلفية الإشعاعية الطبيعية، فإن العامل لن يكون في خطر، ولكن يجب تحديد إستراتيجية ويجب تطويرها لأية أجزاء في المنشأة أو أية مواد تم إزالتها منها.

تقييم جرعة العمال: استناداً إلى معدل الجرعة المقاسة داخل المنشأة مع الأخذ في الحسبان احتمال تشكل المواد الملوثة المحمولة جوا، يجب تقييم جرعة العمل مسبقاً. إذا كان التقييم يشير إلى أن الجرعة المعتمدة والمتوقعة أقل بكثير من 1mSv/y، يمكن تنفيذ العمل. أما إذا أشار التقييم إلى أن الجرعة المعتمدة والمتوقعة ستتجاوز 1mSv/y، قد يكون من الضروري التعاقد مع متعهد متخصص لإزالة تلوث النورم، حيث تستعمل معدات حماية شخصية (Personal Protection Equipment's PPEs) للعمل في الأماكن المحصورة، من أجل حماية العامل من أي استنشاق أو ابتلاع أو جرعة تلوث الجلد.

قياس جرعة العامل: عندما يشير تقييم جرعة العامل إلى احتمال حدوث التعرض للإشعاع، فإن مكون الجرعة الوحيد الذي لا يمكن أن يحاط به هو الجرعة الخارجية، والتي يمكن مراقبتها بواسطة EPD آمن ذاتيا وبالطبع تحدد السلطة المختصة ال TLD. بما أن العديد من أجهزة EPD مجهزة بخيارات التسجيل، وهي ملائمة تماما لتحليل ما هي الخطوات المسببة للتعرض الفعلي في عمل محدد حتى يمكن التقليل من الجرعات في أعمال مماثلة لاحقة. ينصح بحفظ سجلات الجرعة (حتى وإن لم يتم تسجيل جرعات) لأنواع مختلفة من الأعمال المنجزة.

6. التدريب والتوعية

يعد التدريب والتوعية المكونين الرئيسين في نظام إدارة النورم. يجب توعية العمال على:

- المخاطر المرتبطة بالنورم
- إجراءات تحديد النورم (والتحديات تكمن هنا)
- الضوابط اللازمة لحمياتهم الشخصية
- طرق منع التلوث البيئي
- متطلبات التوثيق المحلية وكيفية تعزيز الإجراءات للحد من المخاطر غير المتحكم بها أو العمليات غير المطابقة.

يجب أن يركز التدريب على الأشخاص المشغلين المحتمل تعرضهم للنورم والمشاركين مباشرة في عملية الصيانة. ومع ذلك، يجب تقديم التوعية الأساسية لجميع الموظفين في المنشأة، على الرغم من أنهم لا يشاركون مباشرة أو لديهم مخاطر مباشرة منخفضة.

يجب تحديث التدريب الأساسي على فترات منتظمة وكلما طرأ تغيير مثل تقديم معدات جديدة.

يجب تحديد الموظفين الرئيسيين وتوفير التدريب الذي يجيز لهم ضمان أن ما يقومون به من عمل يراعي مخاطر النورم ويمنع انتشاره. ويجب أن يكون التدريب مصمما لمخاطر محتملة محددة مرتبطة بالنورم الذي يتعرض لها الموظفون.

إن تدريب النورم متاح بسهولة كفصل دراسي وتعلم افتراضي. يؤدي بعض التدريب إلى مؤهلات محددة، والتي قد تكون محددة في التشريعات التوجيهية المحلية. وتشمل: «مستشار الوقاية الإشعاعية»، و«مشرف الوقاية الإشعاعية» و«الشخص المؤهل المناسب»، ولكن لا يوجد معيار عالمي فيما يتعلق بمحتوى التدريب أو الكفاءة.

7. التحكم في مواقع النورم

فيما يلي إجراءات التحكم الأساسية التي يجب ممارستها عند العمل حول مواقع النورم المحتملة أو حولها:

- تحديد الشخص المؤهل والمدرب تدريبا مناسبا مسؤولاً عن إدارة المخاطر وضمان أنهم يقومون بالعمل ضمن نظام إدارة النورم أوسع والسيطرة على العمل.
- وضع حدود حول منطقة العمل ولصق علامات التحذير من الإشعاع (الشكل 12) ويجب أن يكون هذا متناسبا مع مستوى التلوث وإعادة تقييمه كلما تغير مستوى المعلومات الخاصة بالموقع. يجب أن تكون الحدود صغيرة بالقدر المعقول عمليا، ولكن كبيرة بقدر كاف يسمح للأفراد والمعدات بالوصول إلى منطقة العمل ويسمح بإنجاز جميع الأعمال بطريقة آمنة. يحدد الحاجز الفعال مدى المنطقة الملوثة ويبقي تعرض عامة الناس ضمن الحدود التنظيمية.

الشكل 12: علامات التحذير من الإشعاع المعترف بها دولياً (وريقات ثلاثية).

- النظر فيما إذا كانت:

أ. التحكمات الموجودة مسبقا، والتي عادة ما تكون موجهة إلى التلوث الكيميائي، كافية لمعالجة مشكلة النورم،

ب. تحتاج التحكمات الموجودة مسبقا إلى بعض التحسينات الطفيفة، أو

ت. تحتاج التحكمات الموجودة مسبقا إلى تحسينات كبيرة لمعالجة مشكلة النورم بمهارة.

- يجب توفير حاويات أو أكياس بلاستيكية للتخلص من ملابس الوقاية الفردية المستهلكة والنفايات الملوثة عند مخرج منطقة العمل.
- يجب السماح فقط للموظفين الأساسيين بالتواجد في مناطق عمل النورم. يجب أن يكون لديهم التدريب المناسب بما يتمشى مع القوانين المحلية والتدابير المناسبة وحفظ السجلات الموضوعة لتتبع التعرض للجرعة نسبةً إلى الحدود المحددة مسبقا ضمن فترة زمنية معينة.
- قبل صيانة المعدات الملوثة أو فتحات التفتيش أو مصائد الحمأة أو مستقبلات عمليات تنظيف الأنابيب (Pigging receivers)، يجب وضع غطاء أرضي كاف تحت الغرض في منطقة العمل. يجب أن يكون الغطاء الأرضي مصنوع من البلاستيك، مادة مقاومة للماء وقادرة على تحمل الأعمال التي تنطوي عليها دون تمزق أو تشقق. وبدلاً من ذلك، يمكن استعمال وعاء لتجميع ما يسقط من ملوثات نتيجة العمل. يجب أن يكون حجم الغطاء الأرضي مناسب لاحتواء

التسرب والنفايات وإتاحة مساحة واسعة للأعمال ذات الصلة.

- عقد اجتماع السلامة لكافة الأشخاص المتعلقين بالعمل. أما المواضع الاشعاعية التي يجب أن تعالج خلال الاجتماع هي، على سبيل المثال لا الحصر، الملابس الواقية ومتطلبات حماية الجهاز التنفسي، الإشعاع ومستويات التلوث، أنشطة الصيانة التي قد تسبب مواد مشعة تصبح محمولة جوا، المتطلبات من أجل النفايات المتولدة والإجراءات المتخذة في حالة الطوارئ.
- عند الشروع في الصيانة، يجب ترطيب أي مادة جافة ملوثة بالنور في كل مرة إن أمكن لمنع توليد مواد مشعة محمولة جوا. يجب ترطيب المواد الجافة دوريا خلال أعمال الصيانة.
- يجب إغلاق أو تغطية فتحات المعدات أو الأنابيب التي تحتوي على تلوث نور داخلي بالبلاستيك أو مواد مناسبة أخرى.
- يجب وضع لصاقة على الأنابيب أو المعدات الملوثة بالنور بوضوح على أنها «مواد ملوثة بالنورم» ونقلها إلى منطقة مصممة للغرض. يجب أن توضع في هذه المنطقة لوحة تحذيرية «تحذير مواد مشعة طبيعية المنشأ « وتحظر على العامة.
- يجب أن توضع جميع نفايات النورم التي تولدت أثناء الصيانة في براميل أو حاويات عليها لصاقة واضحة. يجب جمع عينات من النفايات لتحليل النشاط الإشعاعي.
- عند الانتهاء من الصيانة، يجب على الأشخاص نزع ملابسهم الواقية وتقييم تلوثها، وإن لزم الأمر غسلها ونزعها قبل مغادرة منطقة العمل.
- يجب إجراء عملية مسح لجميع المواد والمعدات والأدوات التي لا توضع في حاويات أو براميل لرصد التلوث الضئيل الحر غير المرتبط ومستويات معدل التعرض عند الخروج من منطقة العمل (الشكل 13).

تعد القراءة التي تزيد عن ضعف مستويات الخلفية الإشعاعية مؤشراً إيجابياً على التلوث، ويجب التعامل معها على هذا النحو.

عند الانتهاء من العمل، يجب مسح المناطق التي يمكن الوصول إليها من منطقة العمل بحثاً التلوث المبعثر. يجب تنظيف أي تلوث سطحي حر غير مرتبط يتم رصده ووضعه في براميل.

وبمجرد التحقق من أن منطقة العمل خالية من التلوث السطحي الحر، يمكن إزالة الحدود والعلامات.

الشكل 13: براميل نفايات نورم في حقول نفط (صورة بإذن من إكسون موبيل).

8. المعدات الملوثة بالنور

يصف القسم التالي أساسيات التحكم والإدارة المطبقة على ملوث نور صغير بما يكفي لعزله أو تنظيفه أو التخلص منه. وتشمل الأمثلة الأنابيب، الصمامات، أوعية، الخراطيم أو الآلات.

1.8. التحكم

إلى جانب إدارة المعدات في الموقع (كما جرى تفصيله في القسم 7)، يجب التعامل مع معدات الملوثة بالنورم، نقلها، تخزينها أو صيانتها بطريقة خاضعة للرقابة متناسبة مع نشاطها الإشعاعي ومتوافقة مع القواعد الإرشادية المحلية أو الدولية. وهناك حاجة إلى بروتوكولات لضمان عدم إطلاق المعدات أو التعامل معها دون ضوابط لحماية العامل ومنع تلوث البيئة. بالتالي، من الأهمية بمكان أن نفهم كيف وأين يمكن نقل مواد النور والتحكم فيها. على سبيل المثال، يمكن أن يكون أنبوب الحفر الذي يحتوي على رواسب حرشفية ملوثة بمستويات منخفضة بالنور لم يتم كشفه ونقل إلى منشآت إعادة معالجة الأنابيب الثانوية، مع التعرض اللاحق غير المقصود وانتشار النورم.

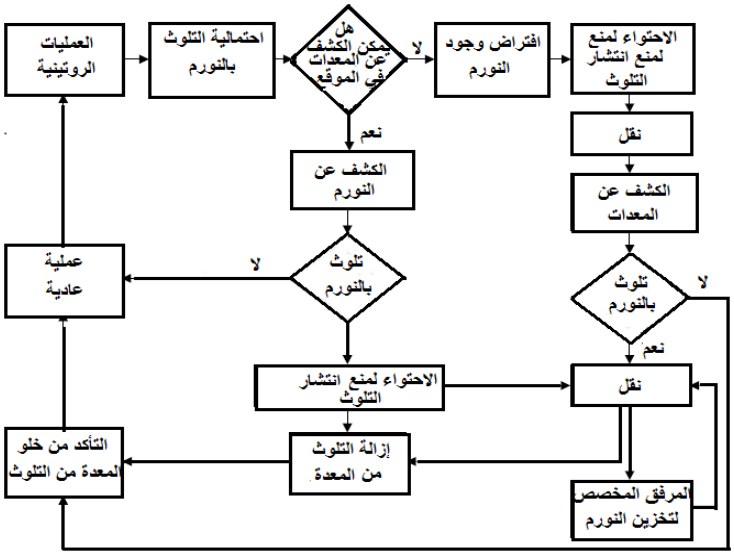
يجب الأخذ في الحسبان المتطلبات الدنيا التالية للتحكم في معدات ملوثة بالنور بنشاط إشعاعي فوق عتبات الإعفاء.

يجب أن:

- يتم إزالة التلوث عن المعدات قبل اطلاقها للاستعمال غير المشروط
- يتم تخزينها فقط في مناطق التخزين المخصصة لذلك
- يتم وضع علامات عليها بوضوح على أنها ملوثة بالنور.
- يتم التعامل معها فقط من قبل موظفين مدربين على مخاطر النورم ويستعملون معدات الحماية الشخصية PPE
- لا يتم إرسالها للصيانة أو الإصلاح للورشة دون إعلام الورشة أن الجسم ملوث بالنورم.
- لا يتم التخلص منها إلا في منشأة تخلص من النورم معتمدة.
- لا يتم إزالة التلوث عنها إلا في منشأة إزالة التلوث بالنورم معتمدة أو وفقا لبروتوكول تنظيف معتمد.
- تغطية الأجزاء المفتوحة من المعدات، مثل الحواف أو نهايات الأنابيب، وما إلى ذلك، حيثما أمكن بشكل كاف، بواسطة بلاستيك مقاوم للأشعة فوق البنفسجية أو مواد أخرى مناسبة للتأكد من عدم تسرب النورم من العنصر.
- إجراء الفحوصات الروتينية على جميع المعدات المخزنة الملوثة بالنور المخزنة للتأكد من سلامة تدابير الحماية.
- يجب الاحتفاظ بسجلات تفصيلية وقابلة للتحقق لجميع المعدات الملوثة بالنور المخزنة.

وبمجرد التحقق من خلوها من التلوث بالنور، يمكن إعادة استعمال المعدات وإرسالها للإصلاح/ الخدمة بطريقة اعتيادية أو بيعها أو التخلص منها كخردة.

العملية النموذجية للتحكم بالمعدات الملوثة بالنورم مبينة بالتفصيل في الشكل 14.



الشكل 14: التحكم في معدات ملوثة بالنور.

2.8. إزالة التلوث عن المعدات محلياً

عندما تسمح اللوائح التنظيمية وتدابير التحكم التي تم وضعها، قد يكون من الأفضل إزالة التلوث عن المعدات محلياً، إما في الموقع أو بدون نقل. يجب أن يتم ذلك فقط من قبل موظفين مدربين تدريبا كافياً.

يجب إزالة التلوث عن المعدات الملوثة بالنورم بطريقة خاضعة للرقابة لضمان وقاية العمال، منع انتشار التلوث بالنورم وتقليل النفايات الناجمة عن عملية إزالة التلوث. لا تزال التقنية البسيطة الميكانيكية /الكشط، أي نفث الماء بالضغط العالي (HPWJ high pressure water jetting) مع طرق ميكانيكية/ كشط أخرى أكثر التقنيات المعتمدة شيوعاً، ولكن محاليل التنظيف الكيميائية أصبحت أيضا متاحة على نحو متزايد. إن جميع طرق إزالة التلوث لديها احتمالية انتشار النورم، وتزيد طريقة تنظيف بالكشط من احتمالية تشكل النورم المحمول جوا كغبار. مما يتطلب تقييم كامل للمخاطر.

عند استعمال هذه الأساليب، يجب الأخذ في الحسبان ما يلي:

- مرافق تبديل للعمال
- مناطق العمليات لتنفيذ العمل
- مناطق المناولة/ الاستلام
- مناطق التفكيك
- مناطق نفث الماء
- نظام إعادة تدوير السوائل
- نظام التهوية
- التحكم في المعدات (نظام الإدارة)
- فحص المعدات
- مراقبة المعدات
- أنظمة متعلقة بالسلامة

يجب أن تأخذ خطة إزالة التلوث في الحسبان المخاطر الأخرى المرتبطة بالمادة، بما في ذلك المخاطر الجوهرية (الشكل، الوزن، إلخ) وغيرها من أشكال الملوثات (الهيدروكربونات والمعادن الثقيلة، الخ) حيثما أمكن، يجب أتمته أنظمة إزالة التلوث.

1.2.8. مناطق العمليات

غرفة التبديل الرئيسة التي تسمح بالوصول إلى مناطق عمل النورم (إشراف أو مراقبة) التي سيتم فيها إزالة التلوث.

منطقة المناولة وهي ستكون ل a) التحقق من المخزون / المادة المرسلة لإزالة التلوث. b) إجراء مسح إشعاعي للمعدات التي جرى إزالة التلوث عنها c) توفير نظام فرز للحفاظ على العناصر «الملوثة» الواردة منفصلة عن «العناصر النظيفة» الخارجة d) منطقة تخزين العناصر التي تحتاج إلى المزيد من إزالة التلوث.

منطقة التفكيك وهي منطقة تفكيك المكونات مثل الصمامات، رؤوس الآبار وغيرها من المكونات.

حجرة الحرق

لمستويات النشاط الإشعاعي العالي، من أجل عمليات القطع بالأكسجين– بروبان وجلخ .. الخ المعدات، وهذه المنطقة يمكن أن يصبح فيها النورم محمول جواً، وبالتالي يتطلب احتواءه كلياً بنظام تهوية مجهز بفلاتر عالية الكفاءة (high efficiency particulate arrestors, HEPA) لأسر العوالق.

يجب أن يتوفر جهاز تهوية موضعي (خراطيم الفيل) في المنطقة لضبط وإزالة الغبار الملوث المحمول جوا عند المصدر.

يحتاج العمال إلى ارتداء معدات الوقاية التنفسية (respiratory protective equipment (RPE في هذه المنطقة؛ وبالتالي يتطلب توفير هواء التنفس لل REP.

يجب أن تكون الأرضية والأسطح عازلة وغير قابلة للاشتعال وقادرة على تحمل الأحمال الثقيلة.

منطقة نفث الماء

هي منطقة عمل النورم (اشراف أو مراقبة) حيث يمكن أن يصبح النورم محمول جواً، وبالتالي يتطلب حجز كامل بنظام تهوية وسحب بفلتر HEPA. في هذه المنطقة، يجب على العمال ارتداء معدات وقاية التنفس RPE. وبالتالي هناك حاجة لتزويد هواء التنفس إلى RPE. يجب أن تكون الأرضية والأسطح عازلة وغير قابلة للاشتعال وقادرة على تحمل الأحمال الثقيلة وتأثير HPWJ

إعادة تدوير السائل

يجب تصفية كل سوائل العملية المستعملة في عمليات إزله التلوث وإعادة استعمالها. ويجب ألا يكون هناك أي اتصال بأي نظام صرف خارجي. أما العناصر الرئيسية المطلوبة لهذا النظام:

يحتاج النظام لفصل الرواسب الملوثة بالنورم ومواد النفايات الزيتية عن مياه العملية. يجب إعادة تدوير المياه من منطقة النفث بالماء إلى النظام من خلال نظام تصريف مغلق ومزدوج الاحتواء. وينبغي أن يحتوي نظام تدوير المياه على نظام كشف التسرب. يجب أن يكون من السهل الوصول لخزان الترسيب القادر على إزالة أي رواسب أو سكبها في حاويات النفايات. يجب أن يكون النظام قادر على نقل المياه من خزان الترسيب إلى خزان احتجاز آخر للسماح بإزالة الرواسب.

2.2.8. مراقبة الأعمال

- يلزم وجود نظام إداري لمراقبة وتتبع التقدم المنجز في إزالة التلوث عن المعدات والمكونات التي تدخل منشأة إزالة التلوث.
- يجب فحص جميع المعدات والمكونات عند الاستلام. يجب تسجيل حالة المعدات وأي ضرر لم يتم تسجيله في الوثائق ويجب على الفور لفت انتباه المختص وحجر المكون بانتظار مزيد من التعليمات من المختص الأعلى.
- يجب مراقبة المعدات المسموح اخراجها من المنشأة من قبل المشغلين المدربين فقط.
- يجب أن تعمل جميع معدات المراقبة وضمن فترة معايرتها. يجب التحقق من الحالة التشغيلية لجميع معدات الرصد الإشعاعي.
- يجب تطبيق نظام إداري لتحديد العناصر الملوثة بالنور من تلك التي تم تنظيفها.

يجب أن تكون معايير القبول لإزالة التلوث نجاح:

أ. يجب أن تكون جميع المعدات واضحة بالعين المجردة أنها خالية من الرواسب الحرشفية، الحمأة أو رواسب أخرى (مثل المسحوق الأسود)

يجب أن تكون جميع المعدات خالية من التلوث الإشعاعي القابل للكشف، كما تم توضيحه في القسم 5 (أي أقل من ضعف الخلفية الإشعاعية).

9. وقاية العاملين

اشتقت المبادئ الأساسية لوقاية العاملين من خصائص الإشعاع التي يمكن التحكم فيها من خلال الجمع بين:
- التدريع: توفير التدريع المناسب (انظر **1.4**)
- المسافة: زيادة مسافة فصل العمال عن المصدر (انظر **2.1**)
- الوقت: تقليل فترة التعرض يقلل الجرعة (انظر **2.2**)

في ظل ظروف التشغيل العادية، يأتي الخطر الأكبر المرتبط بالنورم يأتي من العمال الذين يعملون على مقربة من النورم لفترة طويلة كما هو الحال أثناء إزالة التلوث.

يجب على العمال الذين يدخلون المناطق المغلقة الحاوية على النورم (مثل أوعية التخزين) أو الذين يقومون بأعمال تدخليه على المعدات الملوثة بالنور أن يلتزموا بالإرشادات التالية:

- يجب تدريب الموظفين المطلوب منهم التعامل مع النورم على المخاطر ذات العلاقة والإجراءات المحلية.
- يجب وضع بروتكول مراقبة مناسب لتسجيل الجرعات التراكمية.
- يجب تغطية جميع عمليات النورم بنظام عمل آمن الذي يجب أن يحدد المخاطر ويبرز الاحتياطات الواجب اتخاذها.
- يجب أن تخضع أي معدة أو منطقة بمستويات كشف تلوث للنور حر غير مرتبط لضوابط إشعاعية مناسبة.
- يجب ارتداء معدات الوقاية الفردية PPE المناسبة والتي قد تشمل على سبيل المثال لا الحصر:

  المآزر نوع 'Tyvek' أو البدل الكيميائية

  قفازات النيوبرين (Neoprene)، PVC، النتريل (nitrile) أو مطاط النتريل (NBR)

  أجهزة التنفس مع فلاتر هيبا HEPA

- لا يسمح بالأكل والشرب والتدخين والعلكة في مناطق العمل حيثما تكون احتمالية وجود النورم.
- يسمح فقط للموظفين الأساسيين في التواجد في مناطق العمل التي يحتمل تواجد النورم فيها.
- يجب على العمال الاغتسال بكميات كبيرة من الماء والصابون، بعد العمل مع بالمعدات الملوثة، وقبل تناول الطعام أو الشرب أو التدخين، وفي نهاية يوم العمل.
- استعمال نظم العمل التي تحد من انتاج نفايات PPE.

1.9. دخول الأماكن المحصورة

يجب على الموظفين الالتزام باللوائح والإرشادات لدخول الأماكن المحصورة. وبالإضافة إلى ذلك، قبل دخول الخزانات/الأوعية أو الأماكن المحصورة الأخرى المعروف أو المشتبه في أنها ملوثة بالنور، يجب تنفيذ تدابير حماية العمال المذكورة في القسم السابق.

علاوة على ذلك، قبل دخول الصهاريج أو الأوعية في محطات الغاز، وخاصة في مجاري البروبان والميثان، يجب تفريغ الخزانات/الأوعية وقد تحتاج إلى التهوية، عن طريق التهوية القسرية، لمدة أربع ساعات على الأقل قبل دخولها للتنظيف أو الصيانة. وستؤدي التهوية إلى إجبار غاز الرادون العالق على الخروج من الوعاء، في حين سيتيح الدخول المتأخر وقتا كافيا لاضمحلال وليدات الرادون ذات الأعمار القصيرة. لا يعد غاز الرادون الخطر الأهم المرتبط بدخول الأماكن المحصورة، لذلك يجب أن تستكمل جميع عمليات التحقق لتفادي مسببات الضرر الأخرى. لا يشكل الرادون خطرا حادا على الصحة، ولكن يجب تهوية الخزان لمدة أربع ساعات كوسيلة للتقليل من تلقي الجرعة المحتملة، وبالتالي يجب إدراجه كجزء في عملية تقييم مخاطر العمل الشاملة المتعلقة بالسلامة.

يجب إخضاع جميع الأفراد والمعدات الخارجة من الخزانات لعملية مسح تلوث النورم. ويجب عزل الأفراد أو المعدات الموثة بالنور وإزالة تلوثها.

10. نقل المعدات الملوثة بالنور (نورم)

هناك ضرورة إلى اتخاذ احتياطات كافية للنقل الآمن والممكن تتبعه لمعدات ملوثة بالنورم ونفايات النورم بما في ذلك الرواسب الحرشفية والحمأة ومعدات الوقاية الشخصية الملوثة (PPE) مثل القفازات والمآزر. وهذا لضمان عدم تلوث وسائل النقل أو طريق النقل بالنورم.

يمكن أن تشمل وسائل النقل تشكيلة واسعة من المركبات بما في ذلك الشحن البحري والطرق والسكك الحديدية، وعلى عكس العديد من المواد الخطرة الأخرى، يمكن شحنها عبر الطرق المحلية لغرض صيانة المعدات و/ أو لغرض التخلص. النفايات المشعة لا تغطيها اتفاقية Basel التي تحظر الشحن الدولي للسلع الخطرة لغرض التخلص.

تقدم الإرشادات التالية المبادئ الرئيسية للنقل الآمن، ولكنها ليست بديلا عن القوانين المحلية. عندما لا تكون القواعد أو المدونات قيد الاستعمال في بلد ما، يجب الرجوع إلى معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA «قواعد النقل الآمن للمواد المشعة» [36].

اعتماداً على النشاط الإشعاعي والكمية والمتطلبات المحلية والدولية، قد تتطلب النورم المعد للنقل وضع علامات مع أرقام للأمم المتحدة المناسبة. وهي أرقام مكونة من أربعة أعداد تحدد المواد الخطرة، والأصناف (مثل المواد المتفجرة والسوائل القابلة للاشتعال والمواد السامة، الخ) في إطار النقل الدولي. وتخصص لجنة الأمم المتحدة للخبراء المعنية بنقل البضائع الخطرة أرقام الأمم المتحدة. وهي منشورة كجزء من توصياتها بشأن نقل السلع الخطرة، والمعروف أيضا باسم «الكتاب البرتقالي». وتعتمد هذه التوصيات بانتظام من قبل المنظمة التنظيمية المسؤولة عن وسائط النقل المختلفة. تقع مواد النور في الغالب تحت الفصل "7" على سبيل المثال الأمم المتحدة 2912 (النشاط الإشعاعي النوعي المنخفض)».

يجب تغليف وتجهيز النورم للشحن البحري بالامتثال لأحدث قواعد النقل الخاصة بطريقة النقل المستعملة، على سبيل المثال الكود البحري الدولي للبضائع الخطرة International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code) للشحن البحري. ويهدف (IMDG Code) لحماية أفراد الطاقم ومنع التلوث البحري في النقل الآمن للمواد الخطرة بالسفن. ويوصى الحكومات باعتماده أو استعماله كأساس للوائح الوطنية. ويعد تطبيق القوانين إلزاميا بالاقتران مع التزام الدول الأعضاء في الامم المتحدة بموجب الاتفاقية الدولية لحماية الحياة البحرية International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) والاتفاقية الدولية لمنع التلوث من السفن International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)

يجب أن تغليف المعدات /القطع الملوثة بالنور/ لمنع تسرب النورم، ومعلَمة، ثم يتم تأمينها في حاوية النقل. عندما تكون العناصر أكبر من أن توضع في حاوية نقل، أو من غير العملي القيام بذلك مثل «شجرة عيد الميلاد» في حقل نفطي واسع، يمكن تحت ظروف محددة مقبولة شحن هذه الأصناف غير مغلقة طالما ليس هناك تسريب للمادة أثناء الشحن.

يجب تغليف الرمل / الرواسب الحرشفية / الحمأة ملوثة بالنور من أجل النقل في براميل أو سلة مناسبة، مع تحديد طريقة التخزين / التخلص النهائية غالباً ما يعرف أي نوع مستعمل. وسيؤثر النشاط الإشعاعي النوعي الموجود في النفايات، مع وجود أي أخطار أخرى، على اختيار الحاوية. والهدف دائما التأكد من عدم تسرب المواد أثناء النقل، وبالتالي يجب التحقق من سلامة وإحكام الإقفال وأن الأغطية مناسبة بشكل صحيح كما هو مبين في الشكل 15.

الشكل 15: النورم المحضر للنقل (صورة بإذن من ExxonMobil).

قبل الشحن النورم، يجب على المرسلين التأكد من أن الموظفين مدربين على فهم الأخطار، المخاطر ومتطلبات القواعد والقوانين ومعايير السلامة المناسبة. وكحد أدنى، يجب توفير تدريب التوعية العام لجميع الموظفين المشاركين. سيعتمد ذلك أيضا على رقم الأمم المتحدة وطريقة النقل المستخدم. وقد يحتاج السائقين، ربان السفن، الخ إلى التدريب أيضا، لضمان إتباع ترتيبات الطوارئ. يجب أن تتوفر خطة طوارئ مكتوبة، تحدد الإجراءات التي يجب اتخاذها في حالة وقوع حادث أثناء نقل النورم. إن وضع علامات عبوات/ معدات التي تحوي النورم هي مسؤولية المرسل ويجب مراعاة أحدث معايير IAEA واللوائح المحلية. عند تكون المعدات غير مغلَفة، يجب الإبقاء على علامات الشحن المميزة ملتصقة بالمعدة أو آلة رفعها.

تطلب بعض الدول أن تكون السفن مرخص لها بنقل المواد المشعة، بما في ذلك النورم ويجب على المرسلين التحقق دائما والتأكد من امتثالهم للمتطلبات المحلية.

وثائق النقل، على سبيل المثال، يجب استكمال وثائق نقل البضائع الخطرة، وتوقيعها من قبل ممثل المرسل، مع الوثائق المرفقة بالشحنة.

ستطلب الموقع المستلم إخطاراً /اتفاقيات الشحن، ويجب أيضاً مراعاة المتطلبات المحلية الأخرى، على سبيل المثال، إشعار على مدار 24 ساعة إلى سلطة الميناء و/أو وكيل الشحن/ شركة الرافعات.

يجب أن يحتفظ المرسل السجلات التالية:

- وصف المواد/النفايات التي تم شحنها
- عدد المواد/العبوات
- الوزن والحجم
- تحديد النورس، وتراكيز نشاطها الإشعاعي ونشاطها الكلي
- طريق النقل، وجهة وتصريح من موقع الاستلام يؤكد قبول النورم
- نسخة من جميع مستندات الشحن
- أي معلومات أخرى ذات صلة، مثل شهادة القبول/التخلص

أثناء النقل، قد يتطلب الأمر فصل المواد/ العبوات عن أنواع البضائع الأخرى، على سبيل المثال، أفلام فوتوغرافية، أو أنواع أخرى من البضائع الخطرة. لذلك، يجب الرجوع إلى قوائم التخزين والفرز ذات الصلة، وهذا عادة ما يكون من مسؤولية الناقل.

غالباً ما يتم تجميع /شحن/ تخلص من نفايات النورم من خلال نظام التصاريح والتراخيص الصادرة عن الهيئات التنظيمية في البلدان. ويمكن أيضا أن يكون تصدير واستيراد النورم مقبولا في بعض البلدان، ولكن فقط بموافقة الجهات التنظيمية في كلا البلدين. ولذلك، من المهم أن يتم طلب مشورة متخصصة من خبير مؤهل مناسب.

11. معالجة الأراضي الملوثة بالنورم

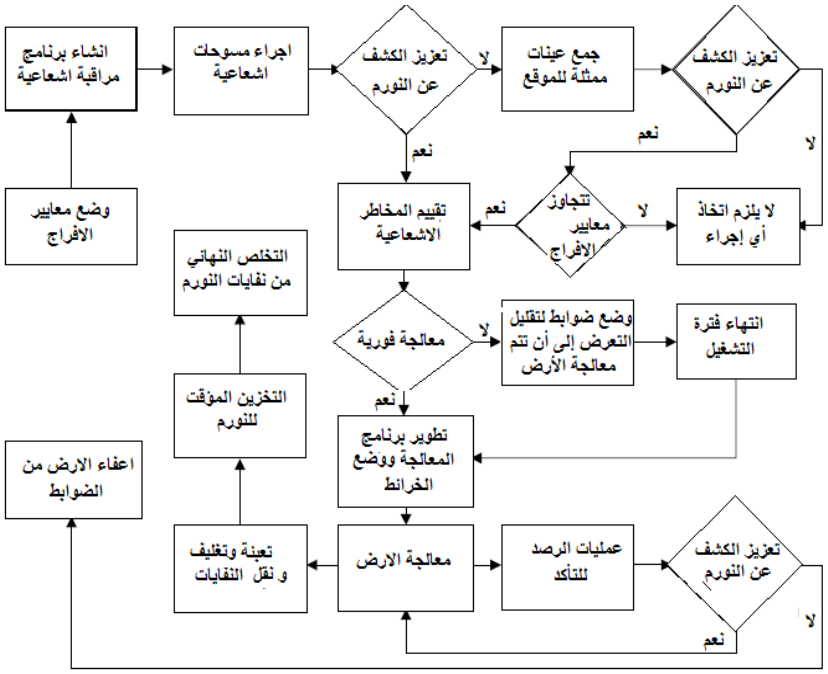
يجب معالجة الأرض الملوثة بالنورم نتيجة للعمليات المتعلقة بالنفط والغاز، مثل حفر التبخر أو فلاحة الأرضland farm ، قبل إطلاقها للاستعمال غير المقيد. المعالجة هي الإزالة المنهجية لتلوث النورم من المنطقة بطريقة خاضعة للرقابة، بحيث تصبح التربة/ المواد الملوثة جزءاً من نفايات النورم. ومن الضروري وضع معايير واضحة لرفع الرقابة بالتشاور مع الجهة الرقابية قبل البدء في معالجة الأراضي. قبل أي عمليات معالجة، يجب ان يتم الانتهاء من تحليل المخاطر بشكل كامل لضمان وجود فائدة يمكن تحقيقها من خلال تنفيذ العملية.

يوضح الشكل 16 مخطط تفصيلي عام لمعالجة الأراضي. ومن المهم التأكيد على أن خطة إدارة النورم يجب أن تراعي

أيضا في السياق الذي تم العثور فيه على المادة. قد تكون المواقع الملوثة بالنورم ملوثة أيضاً بالمواد الخطرة الأخرى مثل المعادن الثقيلة والهيدروكربونات، الأمر الذي يتطلب تقييمات منفصلة للمخاطر.

يكمن أحد أكبر التحديات في تقييم نفايات النورم كجزء من خطة المعالجة في اختيار العينات الممثلة وتقنيات المسح المناسبة. كما هو موضح في القسم 3، يمكن أن يكون لاختيار الأجهزة تأثير كبير على مستويات وأصول النورم المحددة. لن يتم العثور على النورم بالتساوي عبر معظم المواقع، ولكن سوف تحدث «كنقاط ساخنة» لنشاط مرتفع. وعلاوة على ذلك، يمكن أن تعرقل القياسات المخبرية في الدول النامية والمناطق النائية من خلال توفر الوسائل داخل البلد التي لديها القدرة على تقييم العينات بالشكل الملائم. يجب أن تشكل مثل هذه القضايا جزءا من برتوكول المعالجة.

يمكن أن يكون حجم المواد التي تتطلب المعالجة في الموقع كبيراً. على سبيل المثال، احتاج عملية معالجة حقل النفط Bay Marchand في ولاية لوزيانا التخلص (عن طريق حقن الطين) من 1 مليون برميل من التربة الملوثة [37].



الشكل 16: خطة عامة لإدارة معالجة الأراضي الملوثة.

12. خيارات التخلص الدائم

نظراً لأعمار النصف الطويلة للعديد من النورس، (وعلى الأخص 1604y=t ،226Ra)، فإن توفير خيارات التخلص على المدى الطويل التي توفر حماية كافية لصحة البشر والبيئة على مدى فترات زمنية مماثلة يحتاج إلى دراسة متأنية. على سبيل المثال، يجب تصميم بروتوكول التخلص الدائم لمنع تلوث الموارد الطبيعية مثل المياه الجوفية، أو تلوث التربة التي يمكن أن تصبح في المستقبل سكنية أو زراعية على الرغم من أن المنطقة حالياً نائية أو غير مأهولة.

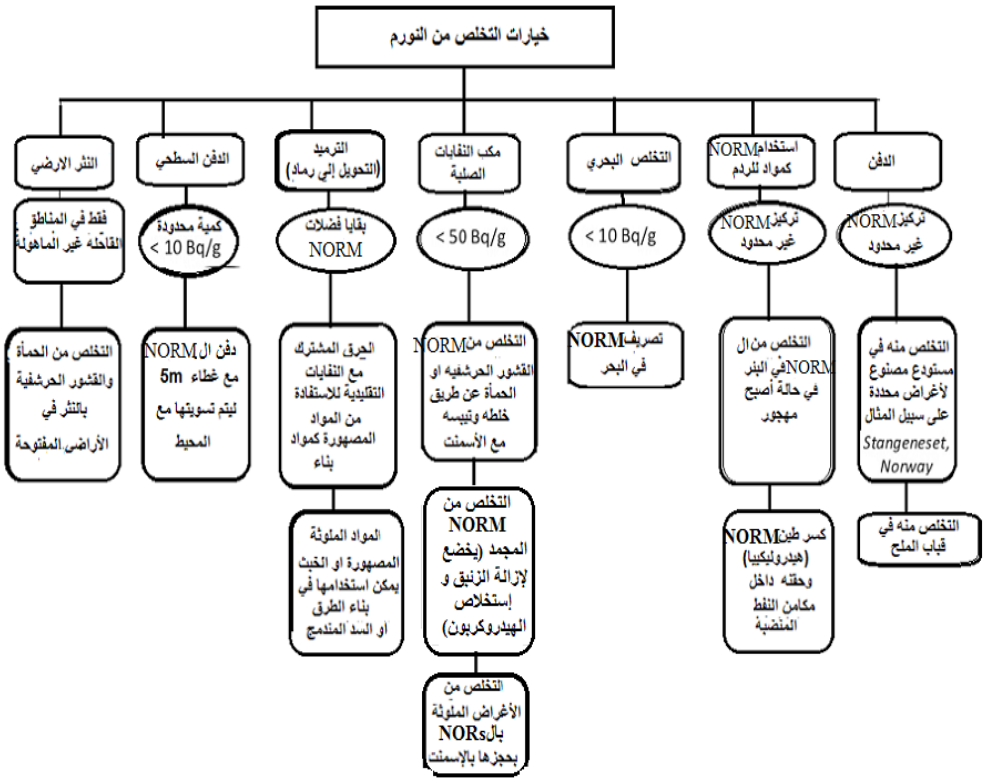
من الضروري الرجوع إلى اللوائح الوطنية عند النظر في طرق التخلص من النورم لأن هذه تختلف بين البلدان. في بعض البلدان، من المقبول أن تقترح شركة لنفط خيارات التخلص (التي تم تحديدها داخلياً) للسلطة الوطنية المختصة، في حين في البلدان الأخرى، تكون الخيارات المعتمدة أكثر الزامية. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تكون النفايات الخطرة بجميع أنواعها موضوعاً حساساً ويجب أيضاً أن يؤخذ في الحسبان الرأي العام المحلي والجمهور والوعي العام للقضايا والمخاطر ذات العلاقة.

قد يشمل الاختيار الأولي لطريقة التخلص ما يلي:

- المخاطر الإشعاعية أثناء الاستعمال الفعال لموقع التخلص
- المخاطر الإشعاعية على العمر الافتراضي الفعال للنفايات
- الجدوى الفنية متضمنة الموقع الجغرافي
- القبول العام (الهيئة التنظيمية والرأي العام)
- التكلفة

تشمل الطرق الشائعة للتخلص من النورم المستعملة حالياً في صناعة النفط والغاز التخلص البحري البعيد عن الشاطئ، طمر النفايات، الحقن تحت الأرض ومرافق النفايات المخصصة مثل التخلص في الكهف الملحي تحت الأرض. ويوضح الشكل 17 بعض طرق التخلص الأكثر شيوعاً.

ما أن يتم تحديد خيارات التخلص المحتملة كنتيجة للاختيار الأولي، يمكن إجراء تقييم كامل من حيث المخاطر والتكلفة. أظهر تقييم المخاطر أن أقل طرق المخاطر المتبقية للتخلص من النورم قد تكون الحقن تحت الأرض وطمر النفايات.



الشكل 17: خيارات التخلص من النورم.

النشاط الإشعاعي				
Bq	Becquerel بيكرل	وحدة قياس النشاط الإشعاعي بوحدة SI	1Bq يساوي واحد تحول نووي في الثانية	$1\ Bq = 2.7\times10^{-11}\ Ci = 27\ pCi$
Ci	Curie كوري	النشاط الإشعاعي ل 1g من الراديوم Ra	واحد كوري يساوي 3.7×10^{10} تحولات لنوي الراديوم في الثانية	$1\ Ci = 3.7\times10^{10}\ Bq = 37\ GBq$
تراكيز النشاط الإشعاعي (أمثلة)		[Bq[NOR]/g[صلب] Bq[NOR]/L[سائل] Bq[NOR]/Nm^3[غاز]	[Bq[^{210}Pbeq]/g[deposit [Bq[^{228}Raeq]/L[PW [Bq[^{222}Rn]/Nm3[NG	^{210}Pb في توازن أبدي مع ^{210}Bi، ^{210}Po ^{228}Ra في توازن مؤقت مع ^{228}Ac بدون وليدات قصيرة العمر ^{222}Rn

الجرعة				
X	التعرض	وحدة cgs قديمة الرومتجن (R) صالح فقط لاشعاع x وγ	عدد ناقلات الشحنة المتحررة في الهواء لكل وحدة كتلة بالإشعاع المؤين	$1\ R = 2.58\times10^{-4}\ C/kg[air]$
D	الجرعة المتصة	وحدة النظام العالمي جول/ كيلوجرام أو جراي	متوسط الطاقة المنقولة إلى المادة لكل وحدة كتلة بالإشعاع المؤين	$1\ Gy = 1\ J/kg$
		rad وحدة قياس قديمة في نظام cgs 100 إرج/ جرام أو راد	الراد= الجرعة المتصة بلا شعاع	$1\ rad = 0.01\ Gy$ $1\ Gy = 100\ rad$
D_T	الجرعة المتصة بالانسجة	وحدة النظام العالمي جول/ كيلوجرام جراي (Gy)	متوسط الطاقة المنقولة إلى الأنسجة T لكل وحدة كتلة بالإشعاع المؤين	$1\ Gy = 1\ J/kg[Tissue]$
$D_{T,R}$			متوسط الطاقة المنقولة إلى الأنسجة T لكل وحدة كتلة بالإشعاع المؤين نوع R	$1\ Gy = 1\ J[type\ R]/kg[Tissue]$
W_R	معامل الترجيح للاشعاعي	وحدة أدخلت من قبل الفيزياء الصحية بدون أبعاد	تعويض عن التأثير البيولوجي النسبي الناجم عن نوع الإشعاع (α، β، γ، X)	$w_\alpha = 20$ $w_\beta = 1$ $w_{\gamma,x} = 1$

H_T	الجرعة المكافئة في النسيج	وحدة SI المشتقة أدخلت بواسطة الفيزياء الصحية: سيفرت (Sv)	جرعة امتصاص الأنسجة مضروبا بمعامل الترجيح للإشعاعي	$H_T \equiv \Sigma_R\, w_R \times D_{T,R}$ Sv[Tissue]
W_T	معامل ترجيح الأنسجة	$\Sigma_T\, w_T \equiv 1$ وحدة أدخلت من الفيزياء الصحية بدون أبعاد $\Sigma W_{T\,T} \equiv 1$	تعويض عن الحساسية النسبية للأنسجة المختلفة للإشعاع المؤين دائما تشمل W_T = 5٪ متوسط الجرعة لكل من الغدة الكظرية، الدماغ، الأمعاء الدقيقة، الكلى، العضلات، البنكرياس، الطحال، الغدة الصعترية و الرحم	$w_{gonads} = 20\%$ w_{colon}، $w_{red_bone_marrow}$، w_{lung}، $w_{stomach} = 12\%$ $w_{bladder}$، w_{chest}، w_{liver}، $w_{thyroid}$، $w_{oesophagus} = 5\%$ w_{skin}، $w_{bone_surface} = 1\%$
E	الجرعة الفعالة (جرعة كامل الجسم)	وحدة SI المشتقة أدخلت من قبل الفيزياء الصحية: سيفرت (Sv)	الجرعة السنوية المتوسطة لسكان العالم من بيئة الإشعاع الطبيعي ≈ 2400μSv/a أو 2.4mSv./a	$E = -\Sigma_T\, w_T \Sigma_R\, w_R \times D_{T,R}$ $E = \Sigma_T\, w_T \times H_T$
			rem = rontgen equivalent man الرونتغن المكافئ للفرد	1 rem = 0.01 Sv 1 Sv = 100 rem

الملحق B الاختصارات والأمثلة

المضاعف	الاختصار	الرمز	مثال	مثال للقيمة
10^{-12}	pico	p	1 pci	10^{-12} Ci = 0.037 Bq
10^{-9}	nano	n	1 nci	10^{-9} Ci = 37 Bq
10^{-6}	micro	μ	1 μSv	10^{-6} Sv = 0.000001 Sv
10^{-3}	milli	m	1 mSv	10^{-3} Sv = 0.001 Sv
10^{3}	kilo	k	1 kBq	10^{3} Bq = 1،000 Bq
10^{6}	mega	M	1 MBq	10^{6} Bq = 1،000،000 Bq
10^{9}	giga	G	1 GBq	10^{9} Bq = 1،000،000،000 Bq
10^{12}	tera	T	1 TBq	10^{12} Bq = 1،000،000،000،000 Bq

الملحق C معاملات تحويل الجرعة

تم الحصول على معاملات تحويل الجرعة (Dose Conversion Coefficients DCC) للابتلاع (DCC_{ing}) والاستنشاق (DCC_{inh} المدرجة في الجدول C-1 عن طريق جمع DCC's ذات الصلة للأعضاء منفردين من التوازن الأبدي أو التوازن العابر المدرجة في المرجع 38. كما أن الـ NORs قد تظهر في مختلف المركبات الكيميائية المجهولة مع السلوك البيوكيميائي المميز للنهج المحافظ لفئة الاستنشاق الاكثر تقيدا قيم DCC_{inh} التي استعملت لتكوين جدول C-1. كما هو الحال في كثير من الأحيان توزيع جسيمات الغبار المتولد غير معروف كذلك، فمن المستحسن تطبيق DCC_{inh} نشاط متوسط قطر الهواء الديناميكي (AMAD) activity median aerodynamic diameter 5 µm لحساب مكون جرعة الاستنشاق (نهج المحافظ).

النويدات الطبيعية المنشأ	أعضاء التوازن الأبدي/العابر	DCCing Sv/Bq	DCC_{inh}	
			1 µm AMAD Sv/Bq	5 µm AMAD Sv/Bq
^{232}Th	^{232}Th	2.2E–7	4.2E–5	2.9E–5
$^{228}Ra_{eq}$	$^{228}Ra > ^{228}Ac$	6.7E–7	2.6E–6	1.7E–6
$^{228}Th_{eq}$	$^{228}Th > ^{224}Ra > ^{220}Rn > ^{216}Po > ^{212}Pb > ^{212}Bi > ^{212}Po/^{208}Tl$	7.0E–8	3.4E–5	2.5E–5
$^{238}U_{eq}$	$^{238}U > ^{234}Th > ^{234}mPa > ^{234}U > ^{230}Th$	2.3E–7	4.6E–5	3.2E–5
$^{226}Ra_{eq}$	$^{226}Ra > ^{222}Rn > ^{218}Po > ^{214}Pb > ^{214}Bi > ^{214}Po$	2.8E–7	3.2E–6	2.2E–6
$^{210}Pb_{eq}$	$^{210}Pb > ^{210}Bi > ^{210}Po$	9.2E–7	3.0E–6	3.2E–6

DCC (Sv/Bq) للعامل لابتلاع واستنشاق جسيمات ب AMAD 1 و5 µm

ملحق D خصائص اضمحلال وإشعاع سلسلتي اضمحلال ^{232}Th و ^{238}U

النظير	اضمحلال–α	متوسط طاقة β							
		النسبة المئوية للاضمحلال β لكل bin طاقة				النسبة المئوية للاضمحلال β لكل bin طاقة			
		keV 200>	keV 500>	keV 1000>	keV 1000<	keV 200>	keV 500>	keV 1000>	keV 1000<
^{232}Th	100%					0%			
^{228}Ra		100%				0%			
^{228}Ac		19%	57%	22%		5%	32%	0%	
^{228}Th	99%					2%			
^{224}Ra	100%					4%	0%		
^{220}Rn	100%						0%		
^{216}Po	100%						0%		
^{212}Pb		100%				1%	48%		
^{212}Bi	36%	5%	3%	56%		1%	1%		
^{212}Po	36%								
208Tl			17%	47%			4%		
العنصر الاخير ^{206}Pb المستقر									
^{238}U	100%					0%			

^{234}Th		100%				9%			
^{234}Pa		100%					0%	0%	1%
^{234}U	100%					0%			
^{230}Th	100%					0%	0%		
^{226}Ra	100%					3%	0%		
^{222}Ra	100%						0%		
^{218}Po	100%							0%	
^{214}Pb		3%	96%			1%	66%	2%	
^{214}Bi		0%	31%	49%	19%		0%	59%	70%
^{214}Po	100%						0%	0%	
^{210}Po		100%				4%			
^{210}Bi			100%						
^{210}Po	100%						0%		
^{206}Pb المستقر العنصر الاخير									

المراجع

1. Lide، D.R. (ed.). *Handbook of Chemistry and Physics*. **1995**. 76th edition. CRC press. Boca Raton. Florida. United States of America.

2. Wollenberg. H.. Smith. A. R. **1990**. A Geochemical Assessment of Terrestrial Gamma-ray Absorbed Dose Rates. *Health Physics*. 183–189.

3. B. Shleien. B.. Slabakc. L.A.. and Birky. B.K. **1998**. *Handbook of Health Physics and Radiological Health*. 3rd edition. William & Wilkins. Baltimore. MD. United States of America.

4. International Commission on Radiological Protection. **2008**. *Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations*. ICRP Publication 107. Annals of the ICRP 38 (3).

5. NRPB. **1999**. *NORM in the Oil and Gas Industries. Radiation at Work Series*. NRPB United Kingdom.

6. Jonkers. G.. Knaepen. W.. Hartog. F.. Lancee P. *Characterisation of NORM in the oil and gas production* (*E&P*) *industry*. International symposium on radiological problems with natural radioactivity in the non nuclear industry (NORM I) September 8-10 **1997** Amsterdam. the Netherlands

7. Hartog. F.. Jonkers. G.. Schmidt A.. Schuiling R.. *Lead Deposits in Dutch Natural Gas Systems*. SPE paper 68316. SPE 3rd International Symposium on Oilfield Scale. January 30 – 31. **2001**. Aberdeen. United Kingdom.

8. Knaepen W.. Bergwerf. W.. Lancee. P.. van Dijk. W.. Jansen J.. Janssen R.. KiezenbergW.. van Sluijs. R.. Tijsmans M.. Volkers K.. Voors. P. *State-of-the-Art of NORM Nuclide Determination in Samples from Oil and Gas Production – Validation of Potential Standardisation Methods trough an Interlaboratory Test Programme*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry **1995**. 198. 323 – 341.

9. New York State Department of Environmental Conservation. Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs – Revised Draft Supplemental Generic Environmental Impact Statement On The Oil. Gas and Solution Mining Regulatory Program. Appendices. **2011**. Albany. NY. United States of America.

10. Jonkers. G. *Unpublished Results*. Shell Technology Centre. Amsterdam. 2007–2015. Amsterdam. the Netherlands.

11. Rowan. E.. Engle. M.. Kirby C.. Kraemer T. *Radium Content of Oil- and Gas- Field Produced Waters in the Northern Appalachian Basin* (*USA*): *Summary and Discussion of Data*. Scientific Investigations Report *2011*–5135. 2011. USGS Reston. VA. United States.

12. UK Environment Agency. *Shale Gas*: *North West - Monitoring of Flow Back Water*. **2011**. Rotherham. United Kingdom.

13. Silva. J.. Matis. H.. Kostedt W. Watkins. *Produced Water Pretreatment for Water Recovery and Salt Production. Research Partnership to Secure Energy for America* (*RPSEA*). Final Report 08122-36. **2012**. Niskayuna. NY. United States of America.

14. Warner. N.. Jackson. R.. Darrah. T.. Osborn. S.. Down. A. Kaiguang Zhao. White A.. Vengosh. A.*Geochemical Evidence for Possible Natural Migration of Marcellus Formation Brine to Shallow Aquifers in Pennsylvania*. Proceedings of the National Academy of Sciences. **2012**. 109. 11961–11966.

15. Haluszczak. L.. Rose A.. Kump L.. *Geochemical Evaluation of Flow Back Brine from Marcellus Gas Wells in Pennsylvania. USA*. Applied Geochemistry. **2013**. 28. 55–61.

16. United States Geological Survey. *Naturally Occurring Radioactive Materials* (*NORM*) *in Produced Water and Oil-Field Equipment – An Issue for the Energy Industry*. USGS Fact Sheet FS–142–99. **1999**. Denver. CO. United States of America.

17. Hartog، F.A.، Knaepen W.A.I. and Jonkers G.، *Radioactive lead*: *An underestimated issue?*، in Proceedings of the 1995 API and GRI Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) Conference، Houston، USA، October 16-18، **1995**، p. 59-69 (API Publication 7104).

18. Hartog، F.A.، Knaepen W.A.I.، Jonkers G.، Schmidt A.P.، Schuiling R.D. and P.F.J. Lancee، *Origin and Encounter of 210Pb in E&P facilities*، in Proc. 2nd International Symposium on the Treatment of Naturally Occurring Radioactive Material، November 10-13، **1998**، Krefeld، Germany، p.53-57.

19. Schmidt، A.P.، *Naturally Occurring Radioactive Materials in the Gas and Oil Industry*، thesis، **2000**، Geologica Ultraiectina، Mededelingen van de Faculteit Aardw etenschappen، University of Utrecht، the Netherlands، pp. 144.

20. Hartog، F.A.، Jonkers G.، Schmidt A.P.، and Schuiling R.D.، *Lead Deposits in Dutch Natural Gas Systems*، **2001**، Society of Petroleum Engineers paper SPE- 68316-MS.

21. OSPAR. (**2011**). Discharges of Radionuclides from the non nuclear sector. London، United Kingdom. ISBN: 978-1-909159-38-9.

22. Neff، J. *Bioaccumulation in marine organisms; effect of contaminants from oil well produced water*. Amsterdam: 2002، Elsevier.

23. Vegueria، J.، Godoy، J. Environmental Impact studies of barium and radium discharges by produced water from the 'Bacia de Campos' oil-field offshore platforms Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*، **2002**، 29–38.

24. Hylland، K.، Eriksen، D.، *Naturally Occurring radioactive material* (*NORM*) *in North Sea produced Water – Environmental Consequences*. Norsk Olge Og Gass **2013** Oslo، Norway.

25. Olsvik، P.، Berntssen، M.، Hylland، K.، Eriksen، D.، Holen، E Low impact of exposure to environmentally relevant doses of 226Ra in Atlantic cod. *Journal of Environmental Radioactivity*، **2012**، 84–93.

26. Grung.M.، Ruus، A.، Holth، F.، Sidhu، R.، Eriksen، D.، Hylland، K. Bioaccumulation and lack of oxidative stress response in the ragworm. *Journal of Environmental Radioactivity*، **2009**، 429–434.

27. Valeur، J.،Petersen، J.. Use of the ALARP principle for evaluating environmental risks and impacts of produced water discharged to sea. Oil and Gas facilities، **2013**، 92–100.

28. United States geological Survey USGS Radium Content of Oil- and Gas-Field Produced Waters in the Northern Appalachian Basin (USA): Summary and Discussion of Data Scientific Investigations Report. **2011**، 2011–5135.

29. Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM) Study Report. Pennsylvania Department of Environmental Protection. **2015**.

30. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1–3). **1990**.

31. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4). **2007**.

32. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR Hereditary Effects of Radiation. Report to the General Assembly، with Scientific Annex **2001**.

33. International Atomic Energy Agency IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards.. **2014**.

34. European Commission، Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December **2013** laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation، and repealing Directives 89/618/ Euratom، 90/641/Euratom، 96/29/Eur.

35. European Commission، Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption Values) below which Reporting Is not Required in the European Directive، Radiation Protection 65، Office for Official

Publications of the European Community. **1993**.

36. International Atomic Energy Authority. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material، IAEA Safety Standards Series No. SSR-6. **2012**. Vienna.

37. Reed، A.، Mathews، J.، Bruno، M.، Olmstead، S. Chevron Safely Disposes One Million Barrels of NORM in Louisiana Through Slurry Fracture Injection Society of petroleum Engineers 71434. **2001**.

38. International Committee on Radiological Protection، *Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60*، ICRP Publication 119، Annals of the ICRP **2012**، 41(suppl. 1). Available from http://www.icrp.org/docs/P%20119%20 JAICRP%2041%28s%29%20Compendium%20of%20Dose%20Coefficients%20 based%20on%20 ICRP%20Publication%2060.pdf

يوفر هذا التقرير إرشادات ومعلومات عامة عن إدارة مخلفات العملية أو المعدات الملوثة بتراكيز طفيفة من النكليدات المشعة الطبيعية (NORs) Naturally Occurring Radionuclides. ويشار إلى عموم المخلفات أو المعدات الملوثة بالنورس بأنها ملوثة بالمواد المشعة طبيعية المنشأ (النورم) Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) في صناعة النفط والغاز.