وتعرف الوكالة الدولية للطاقة الذرية التلوث الإشعاعي ـ في معاييرها ـ على أنه: وجود مادة أو مواد مشعة في مادة أخرى أو على سطحها، أو على الجسم البشري أو داخله، أو في أي مكان آخر، بما يمكن أن يؤدي إلى وقوع ضرر للإنسان أو الكائن الحي، عموماً. من هذا المنطلق، يمكن تعريف التلوث الإشعاعي للأغذية على أنه وجود: مادة أو مواد مشعة داخل المادة الغذائية، بتراكيز قد تكون ضارة، صحياً، بالإنسان، أو بالكائنات الحية.

وهناك مصدران للتلوث الإشعاعي للأغذية، أحدهما مصدر طبيعي، أي موجود طبيعيا في الأرض، والآخر من صنع البشر، والذي بدأ مع تطور الطاقة النووية، واستخدام النظائر المشعة في التطبيقات المختلفة الصناعية، والطبية، والزراعية، وغيرها.

وقد يعتقد البعض أن الأغذية المتنوعة التي تخضع للتشعيع بإشعاعات جاما، سواءً من مصادر هذه الإشعاعات أو من المعجلات الإلكترونية الخطية، بغرض حفظها أو أطالة مدة صلاحيتها؛ تتعرض للتلوث بالإشعاع أو بالمواد المشعة. وهذا الاعتقاد خاطئ تماما، لأن الأغذية أو المواد عموما لا تتلوث بالإشعاع، وإنما تتلوث بالمادة المشعة أي التي تُصْدر الإشعاعات. ويرجع السبب في ذلك إلى أن طاقة عمليات معالجة الأغذية بإشعاعات جاما تصل إلى حوالي ٨–٩ ميجا إلكترون فولط (MeV)* ولا تستحث أية مادة مشعة في الأغذية على الإطلاق، خاصة أن طاقات إشعاعات جاما أو الأشعة السينية المستخدمة لتشعيع الأغذية لا تتجاوز عادة ١,٥–٢ م.إ.ف، وبالتالي لا يمكن أن تستحث هذه الطاقات أية مادة مشعة في الأغذية.

التلوث الإشعاعي الطبيعي للأغذية

قد يحدث التلوث الإشعاعي للأغذية من مواد مشعة موجودة طبيعيا في عناصر البيئة، كالهواء الذي نتنفسه والماء الذي نشربه والغذاء الذي نتغذى به. فمن المعلوم أن القشرة الأرضية تتضمن بعض التراكيز من النويدات المشعة (أي النوى المشع) وهي تحديدا، نويدات ثلاث سلاسل إشعاعية هي:

١– سلسلة اليورانيوم – راديوم: وتتضمن ما يزيد على أربعة عشر نظيراً مشعاً، تبدأ بنظير اليورانيوم٢٣٨ ذي العمر النصفي الذي يقترب من ٤,٥ مليار سنة، وتمر بنظير الراديوم٢٢٦، الذي يتميز بدوره بعمر نصفي يبلغ ١٦٠٠ سنة، ثم تنتهي بنظيري الرصاص٢١٠ والبولونيوم٢١٠ قبل أن تصل للرصاص٢٠٦ المستقر.

٢– سلسلة الثوريوم ٢٣٢: وتتفكك بعمر نصفي للثوريوم٢٣٢ يبلغ ١٤ مليار سنة، عبر عدد أكبر من نظائر السلسلة، مروراً بنظير الراديوم٢٢٤، ثم تنتهي بالرصاص٢٠٨ المستقر.

٣– سلسلة الأكتينيوم: وتبدأ باليورانيوم٢٣٥ ذي العمر النصفي حوالي ٧٠٠ مليون سنة، وتنتهي بالرصاص٢٠٧، فهي لا تمثل مخاطر محسوسة على الإنسان والبيئة أو على تلوث الأغذية؛ نظراً لانخفاض تركيز النظير الأم لها، وهو اليورانيوم٢٣٥ الموجود في التربة بالمقارنة باليورانيوم٢٣٨ بحوالي ١٣٨مرة.

ومن المواد المشعة الموجودة طبيعياً في التربة بعض النظائر المشعة الأخرى طويلة العمر، مثل: البوتاسيوم٤٠، الذي يبلغ عمره النصفي ١,٢٨ مليار سنة، والذي يوجد مختلطاً في التربة مع البوتاسيوم٣٩ المستقر (أي غير المشع)، بنسبة ٠,٠١١٧٪، أي بواقع ١١٧ميكروجرام في كل جرام من البوتاسيوم٣٩ المستقر.

ومن النويدات التي تمثل مخاطر محسوسة بالنسبة للتلوث الإشعاعي الطبيعي للأغذية نويدات:–

١– اليورانيوم ٢٣٨ (U238).

٢– الثوريوم ٢٣٢ (Th232).

٣– الراديوم ٢٢٦ (R1226).

٤– الراديوم٢٢٤(Ra224).

٥– الرصاص ٢١٠ (Pb210).

٦– البولونيوم ٢١٠ (Po210).

٧– البوتاسيوم ٤٠ (K40).

تسلك النويدات (العناصر المشعة) مسارات ـ أي مسالك ـ معقدة في البيئة

* (ميجا إلكترون فولت أو اختصارا م.إ.ف هي وحدة قياس الطاقة في المجال النووي)

قبل وصولها للإنسان. وتستخدم هذه المسالك لحساب الجرعات التي تصل إلى الإنسان. فعلى سبيل المثال فإنه عند وجود تراكيز من هذه النويدات في التربة أو في مياه الري فإن بعض النباتات تمتصها بدرجات متفاوتة، وقد تركزها في الثمار أو الأوراق أو السيقان أو الجذور. وعند تناول الكائنات الحية ـ بما فيها الإنسان ـ هذه الثمار أو الأجزاء النباتية كغذاء تدخل النويدات المشعة مع الطعام للمعدة، ويتم امتصاص نسبة منها في الأمعاء فتصل للدم، حيث تدور ضمن الدورة الدموية، وتتركز بالتالي في أعضاء مختارة في جسم الإنسان. وتعتمد النسبة الممتصة على مدى ذوبانية معادن وأملاح المادة المشعة في الماء، وهي الأملاح التي تكونها هذه المادة مع العناصر الأخرى.

ومن المسالك الأخرى لوصول النويدات المشعة للإنسان تناول المواشي والقطعان للأعشاب والنباتات الملوثة بهذه النويدات، فتتركز هذه النويدات في لحوم أو ألبان هذه المواشي التي يتناولها البشر، ثم تنتقل النويدات إلى جسم الإنسان. فضلا عن ذلك هناك عدد آخر من المسالك منها: تناول الإنسان لهذه النويدات مع الماء الذي يشربه إذا كان هذا الماء ملوثاً بالنويدات. ويبين جدول (١) كميات الأطعمة ـ حسب أنواعها ـ والمياه التي يتناولها الإنسان سنوياً في مراحل عمرية متنوعة، وفقاً لتقديرات اللجنة العلمية للأمم المتحدة. إلا أنه ينبغي الإشارة إلى أن هذه الكميات قد لا تعكس المقدار الصحيح بالنسبة للمياه، فالإنسان البالغ في الأقطار الحارة نسبياً، كالمملكة العربية السعودية، يستهلك ما لا يقل عن ١٠٠٠ لتر من المياه سنوياً للشرب.

م	المواد الغذائية	معدل الاستهلاك (كجم/سنة) للفئات العمرية		
		رضيع (سنة)	طفل (١٠سنوات)	بالغ
١	منتجات الألبان	١٢٠	١١٠	١٠٥
٢	منتجات اللحوم	١٥	٣٥	٥٠
٣	منتجات الحبوب	٤٥	٩٠	١٤٠
٤	الخضروات الورقية	٢٠	٤٠	٦٠
٥	الجذور والفواكة	٦٠	١١٠	١٧٠
٦	منتجات الأسماك	٥	١٠	١٥
	إجمالي الاستهلاك السنوي للأغذية	٢٦٥	٣٩٥	٥٤٠
٧	ماء ومشروبات أخرى	١٥٠	٣٥٠	٥٠٠
٨	هواء مستنشق (متر مكعب)	١٩٠٠	٥٦٠٠	٧٣٠٠

المصدر: اللجنة العلمية للأمم المتحدة حول تأثيرات الإشعاعات الذرية، تقرير عام ٢٠٠٠م، التعرض لمصادر الإشعاع الطبيعية.

● جدول (١): معدل استهلاك البشر للمواد الغذائية وماء الشرب والهواء في السنة.

● جرعات المواد المشعة الطبيعية في الغذاء

من المعلوم، أن الإنسان العادي على سطح الأرض يتعرض سنوياً لجرعة فعالة من المصادر الطبيعية للإشعاع الموجودة في البيئة ـ بما فيها غاز الرادون والأشعة الكونية ـ يبلغ متوسطها ٢,٤ ملي سيفرت، وفقاً لتقديرات اللجنة العلمية للأمم المتحدة في تقاريرها لأعوام ١٩٨٨، ١٩٩٣، ٢٠٠٠م.

وفي الواقع، فإن جزءاً من هذه الجرعة، ـ يبلغ حوالي ٠,٤ ميكروسيفرت/سنة ـ يأتي من الجرعة الناتجة عن المواد المشعة الطبيعية الموجودة في الأغذية التي يتناولها الإنسان. فعلى سبيل المثال: يبلغ معدل الجرعة السنوي عن نظير البوتاسيوم٤٠ حوالي ٠,١٨ ميكروسيفرت/سنة، ويأتي الباقي من نواتج تفكك اليورانيوم٢٣٨ بصفة أساسية، والثوريوم٢٣٢ بدرجة أقل. وتدخل بعض هذه النواتج ـ أو النويدات ـ مثل: نظائر الرصاص٢١٠ والبولونيوم٢١٠ الجسم مع الطعام، خاصة مع الأسماك والمحار حيث تتركز فيها، وبالتالي يتعرض الذين يتناولون كميات كبيرة من الأكلات البحرية إلى جرعات أعلى من المعدل المتوسط.

كذلك، يعتمد سكان المناطق الشمالية من نصف الكرة الشمالي في طعامهم على لحوم الرنة (الأيل) أساساً، وتحتوي لحوم هذه الحيوانات على تراكيز عالية من الرصاص٢١٠ وخاصة البولونيوم٢١٠، حيث تتغذى هذه الحيوانات على عشب الأشنة الذي يركز هذه المواد. وقد قدرت الجرعات التي تصل إلى هؤلاء السكان من البولونيوم٢١٠، حوالي ٣٥ ضعفاً بالمقارنة بالمستويات العادية للسكان بعيداً عن هذه المناطق.

● المأكولات البحرية معرضة للتلوث بالنويدات المشعة.

ويزيد تركيز نظيري الراديوم٢٢٦ والرادون٢٢٢ في المياه المستخرجة من الآبار العميقة، مثل: بعض الآبار التي تغذي مدينة هلسنكي، عاصمة فنلندا، والينابيع الحارة بولاية أركنساس بالولايات المتحدة الأمريكية، وغيرها. وتقدر اللجنة العلمية للأمم المتحدة حول تأثيرات الإشعاعات الذرية أن ما يقل عن حوالي ٩–١٠٪ من سكان العالم يشربون مياهاً جوفية تتضمن حوالي ١٠٠ بكرل/لتر.

وتجدر الإشارة إلى أن جميع المستويات المذكورة لتراكيز المواد المشعة الموجودة طبيعياً في الأغذية لا تمثل ـ في الحقيقة ـ تلوثاً للأغذية بالمواد المشعة الطبيعية، بل أن هذه المستويات تعتبر خلفيات قاعدية طبيعية، يتعايش البشر معها، منذ بدء الخليقة. وتعتبر المادة الغذائية ملوثة بالنويدات المشعة الطبيعية إذا زادت تراكيز هذه النويدات عن حدود معينة.

من هذا المنطلق، تقوم الجهات الرقابية الوطنية المعنية بالحماية من الإشعاع في الدولة، بالتعاون مع الهيئات الوطنية للمواصفات والمقاييس فيها ـ استناداً إلى المعايير الأساسية الدولية ـ بوضع حدود قصوى تطبقها الدولة؛ لتراكيز التلوث

بالمواد المشعة المختلفة في المواد الغذائية، وفي مياه الشرب، بل وفي الهواء، سواء كانت هذه الملوثات من بين المواد المشعة الموجودة طبيعياً في البيئة، أو من بين النويدات المشعة الصنعية (أي التي تصنع في المختبرات على المعجلات أو في المفاعلات النووية).

وعند وضع هذه الحدود تطبق الهيئات المعنية ما يعرف بمبدأ التبرير، مع أخذ الظروف الاجتماعية والاقتصادية للدولة في الحسبان. ويعني التبرير أن تكون فوائد العنصر الخاضع للتبرير متفوقة على جميع أضراره المحتملة. وفي الوقت الحالي يتوفر في المملكة العربية السعودية بعض الحدود لتراكيز بعض النويدات المشعة الطبيعية في مياه الشرب وفي بعض الأطعمة. وتعتبر حدود التراكيز لبعض النويدات المشعة المطبقة في المملكة حالياً في مياه الشرب من بين أقل الحدود بين العديد من دول العالم.

يبلغ الحد الذي وضعته المعايير العالمية لتعرض عامة البشر من جميع المسالك ما يعادل (١ملي سيفرت/سنة)، وهو ما يمثل حوالي ٤١ ٪ عن المتوسط السنوي لتعرض الفرد الواحد من عامة البشر، على ظهر البسيطة، من الإشعاعات والمواد المشعة الموجودة طبيعياً في البيئة وفي الغذاء الطبيعي.

وقد تلجأ بعض الدول إلى استخدام حد يقل بمقدار النصف عن الحد المذكور بالفقرة السابقة، كما قد تلجأ دول أخرى لخفضه للربع بدلاً من النصف. وبتبني حد منخفض للجرعة الفعالة من الأغذية ومياه الشرب، يساوي ٠,٢٥ ميكروسيفرت/سنة، يمكن بيسر حساب مستوى التركيز الأقصى المسموح به من النويدات المشعة في المواد الغذائية أو في مياه الشرب، وذلك باستخدام معامل تحويل البكرل الواحد من النشاط الإشعاعي للنويدة المشعة المحددة إلى جرعة ملازمة. ويستخدم مصطلح البكرل* عادة، للتعبير عن وحدة قياس النشاط الإشعاعي. ويقصد بالجرعة الملازمة تلك الجرعة الإشعاعية التي تصل جسم الإنسان من تناول نشاط إشعاعي مقداره ١ بكرل من هذه النويدة، سواء بتناوله مع الطعام أو الماء أو بالاستنشاق مع الهواء. فبقسمة المقدار ٠,٢٥ مللي سيفرت على معامل التحويل المذكور يتم اشتقاق القيمة القصوى (أي حد) للنشاط الإشعاعي المسموح بابتلاعه في السنة بوحدة بكرل للبالغين. ويبين جدول (٢) القيم القصوى لهذا النشاط الإشعاعي بوحدة بكرل، الذي يسمح بتناوله خلال عام كامل للبالغين، بفرض أن معدل الجرعة الفعالة المسوح به هو ٠,٢٥ مللي سيفرت/سنة، وذلك بالنسبة لبعض النويدات الموجودة طبيعياً في البيئة، وبفرض أن الصيغة الكيميائية للنظير المشع في المركب الكيميائي هي صيغة سهلة الذوبان في الماء. وبقسمة هذا النشاط الإشعاعي السنوي على كتلة الغذاء الذي يتناوله الإنسان البالغ المعياري (الذي تبلغ كتلته ٧٠كجم) في السنة والوارد في جدول (١) للبالغين - يبلغ ٥٤٠ كجم/سنة - يسهل الحصول على حد تركيز المادة المشعة في المواد الغذائية - بوحدة بكرل/كجم، وهو ما يعرف بالنشاط الإشعاعي النوعي الذي يحدده العمود الأخير من جدول (٢). وتجدر الإشارة إلى أن الحدود القصوى الواردة في هذا الجدول، صحيحة حال وجود مادة مشعة وحيدة في المادة الغذائية أو في الماء. أما عند وجود أكثر من مادة مشعة في أي منهما، فيجب خفض التركيز لكل مادة، بحيث لا يتم تجاوز ما يتم ابتلاعه في السنة من كافة النويدات المسموح به.

م	النويدة المشعة	معامل التحويل لجرعة (ملي سيفرت/بكرل)	حد النشاط للسنة (بكرل)	حد التركيز (بكرل/كجم)
١	اليورانيوم ٢٣٨	$٤,٥ \times ١٠^{-٥}$	٥٥٥٥	١٠,٢٨
٢	الثوريوم ٢٣٢	$٢,٣ \times ١٠^{-٤}$	١٠٨٧	٢,٠١
٣	الراديوم ٢٢٦	$٢,٨ \times ١٠^{-٤}$	٨٩٣	١,٦٥
٤	الراديوم ٢٢٤	$٦,٥ \times ١٠^{-٥}$	٣٨٤٦	٧,١٢
٥	الرصاص ٢١٠	$٦,٩ \times ١٠^{-٤}$	٣٦٢	٠,٦٧
٦	البولونيوم ٢١٠	$١,٢ \times ١٠^{-٣}$	٢٠٨	٠,٣٨

* المصدر: اللجنة العلمية للأمم المتحدة حول تأثيرات الإشعاعات الذرية، تقرير عام ٢٠٠٠م، التعرض لمصادر الإشعاع الطبيعية.

● **جدول (٢) حد النشاط الإشعاعي المسموح بابتلاعه من الأغذية في السنة، والتركيز الأقصى له في الغذاء.**

وتتضح أيضاً من الجدول (٢) الخطورة النسبية للنويدات المشعة الموجودة طبيعياً في البيئة، حيث يتبين أن أكثرها خطورة هي البولونيوم٢١٠، يتبعها الرصاص٢١٠، ثم الراديوم٢٢٦، فالثوريوم٢٣٢، ويأتي اليورانيوم٢٣٨ في المقام الأخير.

وبالتالي، يمكن القول أن تراكيز النويدات المشعة الطبيعية في المواد الغذائية بالمستويات الواردة في جدول (٢)، لا تمثل تلوثاً لهذه المواد بالنويدات المشعة، بل يمكن أن تصرح بعض الدول بتناول الأغذية بتراكيز تزيد أربعة أضعاف عن تلك المقادير الواردة في هذا الجدول، بحيث لا تتجاوز الجرعة السنوية للفرد البالغ ١ ملي سيفرت/سنة.

ولا يقلل هذا الأمر من المخاطر الشديدة لبعض النويدات المشعة الموجودة طبيعياً في البيئة، خاصة البولونيوم ٢١٠، فابتلاع كمية ضئيلة جدا من هذه النويدة - تقل كتلتها كثيرا عن ١ ملي جرام - مع الغذاء، تكفي تماماً لقتل الشخص الذي يتناولها قتلاً مؤكدا، مثلما حدث مع عميل المخابرات الروسي في لندن، **فكتور لاتفيننكو**.

ومن الجدير بالذكر أن هذه المادة المشعة (البولونيوم٢١٠) يستحيل الكشف عن وجودها بواسطة أدق أجهزة الرصد

* (اسم عالم فرنسي عمل في هذا المضمار في بدايات القرن العشرين ويعني واحد بكرل النشاط الأشعاعي لعينة يحدث فيها تفكك واحد في الثانية للجيل الأم).

الإشعاعي وأكثرها تطورا، كالتي تستخدمها أكثر سلطات الجمارك تقدماً في العالم، نظراً لأن هذا النظير (النويدة) لا يصدر سوى جسيمات ألفا التي تمتص في طبقة من الهواء لا تزيد سماكتها على ٤ سم. لذلك، تمثل هذه المادة أحد المواد شديدة الخطورة التي يمكن استخدامها للأغراض الإرهابية، لعدم توفر إمكانية تقنية للكشف عن تهريبها.

التلوث بالمواد المشعة الصنعية

نتج التلوث الإشعاعي للأغذية بالمواد المشعة التي صنعها الإنسان، في العديد من الأماكن على سطح الأرض، وفي عقود مختلفة من القرن العشرين ـ بل وحتى يومنا هذا ـ بسبب تجارب التفجيرات النووية في الجو، بل ونتيجة لبعض الحوادث النووية لصناعة الطاقة النووية، ودورة الوقود النووي، ومنها ما يلي:-

• التلوث من التفجيرات النووية

وقع معظم التلوث الإشعاعي للأغذية، في المقام الأول، بسبب تجارب التفجيرات النووية في الجو، بينما كان إسهام تفجير قنبلتي هيروشيما ونجازاكي في هذا التلوث محدوداً جداً بالمقارنة. وقد حدثت هذه التجارب في قمتين، الأولى بين عامي ١٩٥٤، ١٩٥٨م، وشارك فيها كل من الولايات المتحد الأمريكية ـ كعدد أكبر لهذه التجارب ـ، والاتحاد السوفيتي السابق بعدد متوسط، والمملكة المتحدة بعدد محدود. وحدثت القمة الثانية في عامي ١٩٦١، ١٩٦٢م، وكانت تجارب الاتحاد السوفيتي هي الغالبة بل والأكبر عياراً، ثم قامت كل من فرنسا والصين بعدد محدود من تجارب التفجيرات الجوية انتهت في عام ١٩٨٠م.

وتعلق نواتج الانشطار النووي المشعة في الهواء الجوي في طبقة التروبوسفير بارتفاع يبلغ حوالي ١٠-١٢ كم من سطح الأرض وتنتشر على سطحها، حيث تتساقط

● تصاعد نواتج الانشطار النووي المشعة لتصل إلى الأرض محدثة للتلوث.

نسبة بسيطة منها على هذا السطح، خاصة في المناطق القريبة من مكان التفجير، بينما ترتفع النسبة الأكبر إلى طبقة الستراتوسفير، بارتفاع يتراوح بين حوالي ١٠-١٢ كم، وحتى حوالي ٥٠ كم، ثم تتساقط ببطء شديد على جميع أرجاء الأرض.

وتتضمن النويدات المشعة الناتجة عن التفجير عدة مئات من النظائر المشعة المختلفة، وتتميز الغالبية العظمى منها بأعمار نصفية قصيرة، تسهم في تلوث الأغذية لفترة قصيرة لا تتجاوز شهور معدودة، إلا أن هناك أربعة من هذه النويدات تسهم بالقدر الأكبر من التلوث خلال فترات طويلة بعد التفجير، هي، حسب مخاطرها:-

١- الكربون ١٤ ذو العمر النصفي ٥٧٠٠ سنة.

٢- السيزيوم ١٣٧ ذو العمر النصفي ٣٠ سنة.

٣- الزركونيوم ٩٥ ذو العمر النصفي ٦٤ يوما.

٤- الإسترونشيوم ٩٠ ذو العمر النصفي ٢٨,٨ سنة.

وحتى الآن مازالت نظائر السيزيوم ١٣٧ والاسترونشيوم ٩٠ موجودة بنسبة محسوسة على سطح الأرض، وفي قيعان البحار والمحيطات رغم تناقصها التدريجي بمرور الوقت. ومثلما يحدث للبولونيوم ٢١٠ الطبيعي، يتركز السيزيوم ١٣٧ في السلسلة الغذائية لبعض الحيوانات، ثم ينتقل بعد ذلك إلى لحومها وألبانها، وخاصة في حيوانات الرنة، والأغنام، والأسماك، والمحار، والأبقار. وقد قدرت اللجان العلمية المختلفة أن ما وصل للبشرية حتى عام ١٩٨٠م، يمثل ١٢٪ من الجرعة التي تلازم البشر من التفجيرات السابقة، بينما سيصل الباقي على مدى مئات بل آلاف السنين.

وبسبب مخاطر التلوث الشديد للأغذية، التي بدأت تلوح في الأفق بعد القمة الثانية، وخاصة التلوث بالسيزيوم ١٣٧، والاسترونشيوم ٩٠، توصلت الدول الثلاث ـ الولايات المتحدة والاتحاد السفيتي وبريطانيا ـ في عام ١٩٦٣م إلى اتفاقية الحظر الجزئي على التفجيرات النووية في الجو.

• التلوث من محطات القوى النووية

تعد محطات القوى النووية جزء من دورة الوقود النووي، التي تبدأ باستخراج اليورانيوم من الأرض، ثم طحنه ومعالجته وإثرائه كوقود، ثم إعادة معالجته بعد الاستخدام في المفاعلات النووية لاستعادة اليورانيوم والبلوتونيوم، ثم تنتهي الدورة بالتخلص من النفايات المشعة عالية المستوى، وفي كل مرحلة من هذه المراحل يمكن أن تنطلق كميات محدودة من النويدات المشعة. وقد حاولت اللجنة العلمية للأمم المتحدة تقويم تلوث الأغذية كمسلك من مسالك التعرض البشري لهذا التلوث الناتج عن كل مرحلة من مراحل الدورة، وتوصلت اللجنة إلى صعوبة التقويم نتيجة للعديد من العوامل التي تمثلت ـ أساساً ـ في انخفاض هذا التلوث لدرجة تجعله غير ذي أهمية، فضلاً عن تباينه تبايناً شديداً حتى من الطراز الواحد من المفاعلات، وعن التباين المتوقف على بعد المحطة عن مراكز الإنتاج الزراعي، وعوامل أخرى كثيرة.

وقد أكدت التقديرات التي أخذت جميع هذه العوامل في الحسبان شدة انخفاض إسهام هذه الدورة بأكملها في التعرض البشري للتلوث، بما في ذلك تلوث الأغذية. فقد قدرت اللجنة العلمية للأمم المتحدة أن إسهام جميع مراحل دورة الوقود النووي

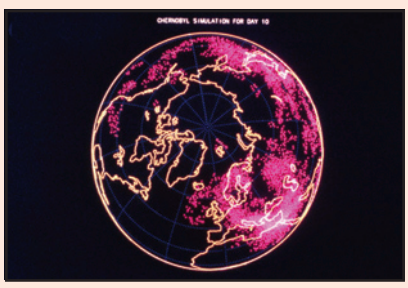
في التعرض البشري كجرعة فعالة جماعية ـ عبارة عن حاصل ضرب عدد سكان الأرض الذي يبلغ حوالي ٦ مليار نسمة حالياً في الجرعة المتوسطة للفرد الواحد من هذه الدورة ـ بما يتراوح بين ٤و٥ فرد سيفرت، بينما تقدر اللجنة نفسها الجرعة الفعالة الجماعية من فحوص التشخيص الطبي للمرضى بالأشعة السينية في العالم، بما يتراوح بين ٢و٦ مليون فرد سيفرت أي حوالي مليون ضعف.

ومع بداية ظهور مفاعلات القوى النووية منذ نهاية الخمسينيات من القرن العشرين، ورغم وجود ما يزيد على ٤٥٠ مفاعلاً ـ حاليا ـ لإنتاج الكهرباء في العالم من الطاقة النووية، في قرابة ثلاثين دولة، تنتج ما يقارب ٤٥٠ جيجاوات من الكهرباء، وبما يقارب ١٦٪ من الطاقة الكهربائية المنتجة عالمياً، إلا أن إسهام دورة الوقود بأكملها مازال محدوداً للغاية في التعرض الإشعاعي، ولا يمثل أي إسهام ملموس في تلويث الأغذية بالنويدات المشعة الصنعية.

إلا أن حوادث المواد المشعة التي وقعت في بعض مراحل دورة الوقود النووي، بل ومع مصادر مشعة صغيرة، تستخدم في الطب أو الصناعة أو غيرهما، قد أسهمت في التعرض البشري للإشعاع، وفي تلوث الأغذية في بعض مناطق العالم. ولقد وقعت عدة مئات من الحوادث الإشعاعية مع مصادر مشعة صغيرة ـ جميعها بسبب الأخطاء البشرية ونقص تدريب متداولي هذه المصادر في مجال الحماية من الإشعاع ـ أسهمت ببعض المئات من القتلى في العالم، معظمهم من بين عامة البشر ممن لا علاقة لهم بهذه المصادر. كما أسهمت بتلوث أماكن واسعة بالمادة المشعة، مثل: تلوث مدينة جوانيا بالبرازيل من مصدر سيزيوم ١٣٧.. كذلك أسهمت مرحلة معالجة وإعادة معالجة الوقود النووي بحادثتين معروفتين، إحداهما في: كيشتيم بروسيا والأخرى في: سيلافيل ببريطانيا، نتج عنهما تسرب كميات محدودة من النويدات المشعة أدى إلى حدوث بعض التلوث المحدود.

وتعد أكبر حادثتين في مرحلة تشغيل المفاعلات النووية من دورة الوقود النووي، ما حدث في جزيرة ثري مايل أيلاند بالولايات المتحدة الأمريكية، وفي مدينة تشرنوبل بأكرانيا (الاتحاد السوفيتي السابق). ورغم انتهاء الحادثتين بقبر المفاعلين إلى الأبد، إلا أنه نتج عن الحادث الأول تلوث محدود جداً لمنطقة غير واسعة، في حين نتج عن الثاني تلوث شديد وخطير في نصف الكرة الشمالي بأكمله أدى إلى وصف الحادث بالكارثة. ونتيجة لهذه الكارثة حدث تلوث شديد للأغذية في أماكن كثيرة في أوربا، وتلوث محدود في عدد من دول آسيا وإفريقيا.

وقد وقع حادث تشرنوبل قبل فجر السادس والعشرين من أبريل عام١٩٨٦م بسبب انتهاك المشغلين لقواعد الأمان بشكل متكرر، فوضعوا المفاعل في ظروف تشغيل محظورة، ثم أنهوا الانتهاكات بسحب جميع قضبان التحكم، عن عمد، خارج لب المفاعل ـ الأمر المحظور في كل معايير التشغيل ـ وإطفاء نظم الأمان مخالفين جميع القواعد. ونتيجة لهذه المخالفات ارتفعت قدرة المفاعل، ارتفاعاً سريعاً وهائلاً، إلى مئة ضعف قدرته العادية، خلال أربع ثوان، مما أدى إلى انفجار المفاعل ورفع غطاؤه الذي تبلغ كتلته ألف طن من الفولاذ. وبعد مرور ٣ ثوان من الانفجار الأول حدث انفجار آخر



● مدى انتشار النويدات المشعة الصادرة من مفاعل تشرنوبل في الكرة الأرضية.

قذف بأجزاء من لب المفاعل خارج المبنى لمسافات بلغت ١٥٠٠ متر.

ونتيجة للانفجار انطلق من لب المفاعل، على مدى عشرة أيام بعد الانفجار، حوالي ٢٥ ٪ من نواتج الانشطار المشعة شديدة الخطورة المختزنة فيه، والتي قدرت كمياتها، عندئذ، بحوالي ٢×١٨١٠ بكرل (أي حوالي ٢ مليار مليار بكرل). وقد انطلق حوالي ٢٠ ٪ منها في اليوم الأول بعد الانفجار، ثم بدأ معدل الانطلاق في التناقص حتى الأول من مايو، بسبب إلقاء الطائرات العمودية مواد كربيد البور، والدولومايت، والطفلة، والرصاص، لكبت الانطلاق. إلا أن ذلك أدى إلى ارتفاع درجة حرارة الوقود المتبقي في لب المفاعل إلى ٢٠٠٠ مْ، فازداد معدل الانطلاق بشدة لمدة ٤– ٥ أيام، بدأ من أول مايو، حيث توقف الانطلاق تماما يوم السادس من مايو.

وقد حملت الرياح التي هبت على تشرنوبل، والتي غيرت اتجاهاتها بحيث غطت كافة الاتجاهات ـ بالنسبة لموقع تشرنوبل ـ على مدى الأيام العشر لانطلاق النويدات المشعة مع السحابة المنطلقة، فغطت جميع دول أوربا بلا استثناء ـ وإن كانت بدرجات متفاوتة ـ بل والعديد من الدول الآسيوية. فقد وصلت سحابة المواد المشعة لليابان يوم ٢ مايو، ثم وصلت للصين يوم ٤، مايو ثم للهند يوم ٥ مايو، وإلى كندا والولايات المتحدة يومي ٥، ٦ مايو. ولم تصل هذه المواد إلى النصف الجنوبي من الكرة الأرضية نظراً لضعف احتمال انتقال كتل الهواء بين نصفي الكرة؛ بسبب الارتداد قرب خط الاستواء. وتقدر اللجنة العلمية للأمم المتحدة أن حوالي ٤١٪ من النويدات المشعة المنطلقة من المفاعل المعطوب قد تساقطت على التربة داخل حدود الاتحاد السوفيتي السابق، بينما تساقطت حوالي ٣٨٪ على الدول الأوربية، وحوالي ٦ ٪ على البحار والمحيطات، وتوزع الباقي ـ حوالي ١٥ ٪ ـ فوق اليابسة في نصف الكرة الشمالي.

يعتمد معدل تساقط النويدات المشعة على الأرض ـ أساساً ـ على هطول الأمطار في أماكن مرور السحابة الملوثة. وتبعاً لذلك، بلغ معدل تركيز النويدات المشعة على التربة الزراعية في الأماكن التي هطلت عليها أمطار أثناء مرور السحابة الملوثة، بعيداً عن المفاعل بعشرات بل وبمئات الكيلومترات داخل الاتحاد السوفيتي، إلى تراكيز هائلة بلغت إلى مايزيد على حوالي ٢٠٠ ألف بكرل في المتر المربع، وذلك على مساحة تجاوزت ٢٥٠٠٠ كيلومتراً مربعاً في كل من جمهوريات روسيا البيضاء، وروسيا، وأكرانيا بالترتيب. كذلك، تساقطت تراكيز عالية من النويدات المشعة على كل من بافاريا (ألمانيا)، والمجر، والسويد، وسويسرا، والنمسا، وبولندا، وبلغاريا، وإيطاليا، وفرنسا، وغيرها، بسبب هطول الأمطار الغزيرة أثناء مرور السحابة، وأصيبت جميع دول أوربا بالتلوث بالنويدات المشعة، دون استثناء، بدرجات شديدة التفاوت.

ومن أشد النويدات المشعة خطورة، من بين عشرات بل مئات الأنواع من النويدات المنطلقة: نظير اليود١٣١، ونظير السيزيوم١٣٧ والسيزيوم١٣٤، والاسترونشيوم٩٠، والنويدات المتكونة داخل المفاعلات بأسر اليورانيوم للنيوترونات كالبلوتونيوم٢٣٨ والبلوتونيوم ٢٣٩ والأميريشيوم٢٤١.. وقد تعرض سكان نصف الكرة الأرضية الشمالي ـ يقدرون بحوالي ٨٨ ٪ من سكان الكرة الأرضية وما زالوا يتعرضون بسبب ذلك، للمخاطر الإشعاعية من خلال أربعة مسالك هي: التشعيع المباشر بإشعاعات جاما من السحابة الملوثة أثناء مرورها، وتنفس الهواء الملوث، خاصة بالنويدات المشعة الأربعة السابقة، ومن التعرض لإشعاعات جاما المنطلقة من سطح التربة التي تساقطت عليها النويدات المشعة ولوثتها، وأخيراً ـ وإن كان أهمها ـ تلوث المواد الغذائية بالمواد المشعة المبينة.

وقد كان دور تلوث الأغذية باليود١٣١ دوراً محدوداً من حيث الزمن، وإنما تمثلت مخاطر هذا النظير في استنشاقه مع الهواء، فضلاً عن تلوث الأغذية، خاصة في الاتحاد السوفيتي السابق، وبعض دول أوربا كألمانيا، والسويد، وغيرها، لكن سرعان ما انتهت مخاطر هذا اليود المشع، بسبب عمره النصفي القصير (٨ أيام). أما نظير السيزيوم١٣٤ المترسب على الأرض، فقد استمر في لعب دوره كأحد ملوثات الأغذية لعدة سنوات بعد الحادث؛ بسبب سهولة ذوبان مركباته في الماء وامتصاصه بمعدلات عالية في النباتات التي يتغذى عليها الإنسان والحيوان، إلا أنه نظراً لعمره النصفي القصير نسبياً (ما يزيد قليلاً على سنتين) فقد باتت مستويات تلوث الأغذية به محدودة بل وضئيلة، ولا تمثل حالياً مخاطر محسوسة.

على العكس من ذلك، فإنه نظراً للعمر النصفي الطويل لكل من السيزيوم١٣٧ والاسترونشيوم٩٠ ـ ٣٠ سنة وحوالي ٢٩ سنة بالترتيب ـ فقد بقي هذان النظيران يسهمان، حتى الآن، بأكبر معدل لتلوث الأغذية بالنويدات المشعة وسيستمر الأمر هكذا لعدة عقود. أما بالنسبة للتلوث بنوى ماوراء اليورانيوم ـ البلوتونيوم٢٣٨، والبلوتونيوم٢٣٩ والأميريشيوم ٢٤١ ـ فإنه رغم خطورتها الشديدة بالمقارنة بالنظائر الأخرى، فإن معدلات انطلاقها من المفاعلات محدودة جداً، فضلاً عن سرعة ترسبها على الأرض قرب منطقة الانطلاق للسبب ذاته.

وعموماً، تباين تلوث الأغذية بالمواد المشعة تبايناً هائلاً طوال الفترة اللاحقة للحادث وحتى اليوم. فتلوث الأغذية لا يعتمد على اتجاهات السحابة الملوثة وهطول الأمطار فحسب، وإنما يعتمد كذلك على الموسم الزراعي، ونوعيات المحاصيل المزروعة والممارسات البشرية في المنطقة الملوثة، والقدرات الامتصاصية للنباتات لهذه المواد، وطبيعة التمثيل الغذائي لهذه المواد في الحيوانات التي نتغذى على ألبانها ولحومها.

فعلى سبيل المثال، تمكنت السويد من الحفاظ على مستوى تلوث الألبان باليود١٣١ عند حدود معقولة، حيث أبقت الأبقار داخل حظائرها ولم تخرجها للرعي، بل استخدمت الأعلاف القديمة لفترة معينة، حتى ينخفض مستوى التلوث باليود في العشب والتربة بالتفكك. أما الدول التي سمحت لأبقارها بالخروج للرعي، فقد كان مستوى التلوث باليود في ألبانها شديد الارتفاع وتجاوز كثيراً ١٠٠٠ بكرل/لتر. كذلك، تلوثت الخضروات الورقية باليود١٣١، في اسكندنافيا، بدرجة محدودة، بينما كان تلوث هذه الخضروات في وسط وجنوب أوروبا كبيراً، رغم الانخفاض النسبي لمستوى التلوث بهذا اليود في الجنوب، وذلك بسبب تأخر موسم زراعة هذه الخضروات في المناطق الشمالية لانخفاض درجة حرارتها.

بعد شهور معدودة، أصبح تلوث الأغذية بنظيري السيزيوم١٣٤، ١٣٧ والاسترونشيوم٩٠ هو السائد. وقد احتوت العديد من النباتات والأغذية المنتجة في الأماكن شديدة التلوث في الاتحاد السوفيتي و أوروبا، تراكيز خطيرة من هذه النظائر في المحاصيل المنتجة اعتباراً من نهاية سبتمبر ١٩٨٦م، فقد احتوت العديد من الأغذية على تراكيز شديدة من هذه النظائر الثلاث تجاوزت في بعض الأحيان ما يزيد، كثيراً، على ١٠٠٠بكرل/كجم، بما في ذلك الألبان، – خاصة ألبان الأغنام – وفطر عش الغراب