حادث فوكوشيما داييتشي

تقرير من المدير العام

IAEA
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

حادث فوكوشيما دايتشي

تقرير من المدير العام

الدول التالية أعضاء في الوكالة الدولية للطاقة الذرية:

الاتّحاد الروسي
إثيوبيا
أذربيجـان
الأرجنتين
الأردن
أرمينيا
إريتريا
إسبانيا
أستراليا
إستونيـا
إسرائيـل
أفغانستان
إكـوادور
ألبانيـا
ألمانيا
الإمارات العربية المتحدة
إندونيسيا
أنغـولا
أوروغواي
أوزبكستان
أوغنـدا
أوكرانيا
إيران (جمهورية - الإسلامية)
آيرلندا
آيسلنـدا
إيطاليـا
بابوا غينيا الجديدة
باراغـواي
باكستان
بالاو
البحرين
البرازيل
البرتغـال
بروناي دار السلام
بلجيكـا
بلغاريـا
بليز
بنغلاديـش
بنمـا
بنـن
بوتسوانا
بوركينا فاصـو
بوروندي
البوسنة والهرسك
بولندا
بوليفيا، دولة – المتعددة القوميات
بيرو
بيلاروس
تايلند
تركيـا
ترينيداد وتوباغو
تشاد
توغو
تونـس
جامايكـا
الجبل الأسود
الجزائر
جزر الباهاما
جزر مارشال
جمهورية أفريقيا الوسطى
الجمهورية التشيكية
الجمهورية الدومينيكية
الجمهورية العربية السورية
جمهورية الكونغو الديمقراطية
جمهورية تنزانيا المتحدة
جمهورية كوريـا
جمهورية لاو الديمقراطية الشعبية
جمهورية مقدونيا اليوغوسلافية سابقاً
جمهورية مولدوفـا
جنوب أفريقيا
جورجيا
جيبوتي
الدانمـرك
دومينيكا
رواندا
رومانيـا
زامبيـا
زمبابـوي
سان مارينو
سري لانكا
السلفـادور
سلوفاكيا
سلوفينيا
سنغافورة
السنغـال
سوازيلند
السودان
السويد
سويسرا
سيراليـون
سيشيل
شيلي
صربيا
الصين
طاجيكستان
العـراق
عُمان
غابـون
غانا
غواتيمـالا
غيانا
فرنسا
الفلبيـن
فنزويلا (جمهورية-البوليفارية)
فنلندا
فيجي
فييت نام
قبـرص
قطـر
قيرغيزستان
كازاخستان
الكاميـرون
الكرسي الرسولي
كرواتيـا
كمبوديـا
كنـدا
كوبا
كوت ديفوار
كوستاريكـا
كولومبيـا
الكونغو
الكويـت
كينيـا
لاتفيـا
لبنـان
لختنشتاين
لكسمبـرغ
ليبيا
ليبيريـا
ليتوانيـا
ليسوتو
مالطـة
مالـي
ماليزيا
مدغشقـر
مصر
المغرب
المكسيك
ملاوي
المملكة العربيّة السعوديّة
المملكة المتَّحدة لبريطانيا العظمى وآيرلندا الشماليّة
منغوليـا
موريتانيا
موريشيـوس
موزامبيق
موناكـو
ميانمـار
ناميبيـا
النرويج
النمسا
نيبال
النيجـر
نيجيريا
نيكاراغوا
نيوزيلنـدا
هايتـي
الهند
هندوراس
هنغاريـا
هولنـدا
الولايات المتحدة الأمريكية
اليابان
اليمـن
اليونان

وافق المؤتمر الخاص بالنظام الأساسي للوكالة الدولية للطاقة الذرية الذي عُقد في المقر الرئيسي للأمم المتحدة بنيويورك في ٢٣ تشرين الأول/أكتوبر ١٩٥٦ على النظام الأساسي للوكالة الذي بدأ نفاذه في ٢٩ تموز/يوليه ١٩٥٧. ويقع المقر الرئيسي للوكالة في فيينا. ويتمثّل هدفها الرئيسي في "تعجيل وتوسيع مساهمة الطاقة الذرية في السلام والصحة والازدهار في العالم أجمع".

حادث فوكوشيما داييتشي

تقرير من المدير العام

تصدير

بقلم يوكيا أمانو
المدير العام

يعرض هذا التقرير تقييمًا لأسباب وعواقب الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية باليابان الذي بدأت أحداثه في ١١ آذار/مارس٢٠١١. وهذا الحادث الذي نجم عن تسونامي ضخم أعقب زلزالًا عنيفًا كان أسوأ حادث يقع في محطة للقوى النووية منذ كارثة تشرنوبل في عام ١٩٨٦.

ويأخذ هذا التقرير في الاعتبار العوامل البشرية والتنظيمية والتقنية ويهدف إلى تقديم فهم لما حصل ولماذا، حتى يتسنى للحكومات والجهات الرقابية ومشغلي محطات القوى النووية في جميع أنحاء العالم التصرف بناء على الدروس المستفادة اللازمة في هذا الشأن. كما يتم خلاله فحص ما تم اتخاذه من تدابير للتصدي للحادث، في اليابان وعلى الصعيد الدولي.

وينبغي ألا ننسى ما كان لحادث فوكوشيما داييتشي من تأثير كبير على البشر. فقد تم إجلاء أكثر من ١٠٠ ٠٠٠ شخص بسبب انبعاث نويدات مشعة في البيئة. وفي وقت كتابة هذا التقرير، في عام ٢٠١٥، مازال كثير منهم عاجزين عن العودة إلى منازلهم.

ولقد قمت بزيارة محطة فوكوشيما داييتشي بعد بضعة أشهر من وقوع الحادث وشاهدت بنفسي التأثير القوي والمدمر الذي خلّفه التسونامي. ولقد كانت هذه التجربة بالنسبة لي تجربة صادمة ومؤلمة.

ولكنني تأثرت أيما تأثر بما أبداه أولئك العمال والمديرون من شجاعة وتفان، إذ أنهم لم يبرحوا مواقعهم بعد أن ضرب التسونامي وكافحوا، في ظل ظروف مروعة، من أجل استعادة السيطرة على المفاعلات المتضررة. فقد كان عليهم استنباط وسائل تصد مرتجلة في ظل ظروف لم يتلقوا تدريبًا بشأنها، وأعوزتهم في أغلب الأحيان المعدات المناسبة. وهم جديرون باحترامنا وإعجابنا.

ومن العوامل الرئيسية التي ساهمت في وقوع الحادث الافتراض السائد على نطاق واسع في اليابان بأن محطات القوى النووية كانت آمنة إلى حد أن وقوع حادث بهذا الحجم كان ببساطة أمرًا لا يمكن تصوره. وكان هذا الافتراض مسلمًا به من جانب مشغلي محطات القوى النووية ولم يتم التشكيك فيه من قبل الجهات الرقابية أو الحكومة. ونتيجة لذلك، لم يكن اليابان متأهبًا على نحو كاف لحادث نووي عنيف في آذار/مارس ٢٠١١.

ولقد كشف حادث فوكوشيما داييتشي بعض مواطن الضعف في الإطار التشريعي في اليابان. وألقيت المسؤوليات على عدد من الهيئات ولم يكن دائمًا واضحًا أين تكمن السلطة.

كما كانت هنالك بعض مواطن الضعف في تصميم المحطة، وترتيبات التأهب للطوارئ والتصدي لها، والتخطيط للتصدي لحادث عنيف. وكان هنالك افتراض بأنه لا يمكن أبدًا حصول انقطاع في جميع القوى الكهربائية داخل محطة للقوى النووية يدوم لأكثر من فترة زمنية قصيرة. ولم تؤخذ في الحسبان إمكانية أن تعاني في نفس الوقت عدة مفاعلات داخل نفس المرفق من أزمة ولم يتم الاحتياط على نحو كاف لإمكانية وقوع حادث نووي تنجم عنه في نفس الوقت كارثة طبيعية كبرى.

ومنذ وقوع الحادث، قامت اليابان بإدخال إصلاحات على نظامها الرقابي من أجل تلبية المعايير الدولية على نحو أفضل. وأسندت إلى الجهات الرقابية مسؤوليات أكثر وضوحًا ومنحتهم سلطة أكبر. وسوف يقوم خبراء دوليون باستعراض هذا الإطار الرقابي الجديد من خلال بعثة من بعثات الاستعراض الرقابية المتكاملة التابعة للوكالة. كما تم تعزيز ترتيبات التأهب للطوارئ والتصدي لها.

واستجابت بلدان أخرى للحادث بإجراءات شملت الاضطلاع بـ'اختبارات التحمُّل' بغية إعادة تقييم تصميم محطات القوى النووية في مواجهة المخاطر الطبيعية الشديدة في مواقع محددة، وتركيب مصادر احتياطية إضافية للقوى الكهربائية وإمدادات للمياه، وتعزيز حماية المحطات في مواجهة الأحداث الخارجية القصوى.

وعلى الرغم من أن مسؤولية الأمان النووي تظل واقعة على عاتق كل بلد على حدة، فإن الحوادث النووية يمكن أن تتجاوز الحدود الوطنية. وشدد حادث فوكوشيما دايتشي على ما يكتسيه التعاون الدولي الفعال من أهمية حيوية. والوكالة الدولية للطاقة الذرية هي المكان الذي يجري فيه القدر الأكبر من هذا التعاون. ولقد اعتمدت دولنا الأعضاء *خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي* بعد بضعة أشهر من وقوع الحادث كما أخذت في تنفيذ أحكامه البعيدة المدى لتحسين الأمان النووي على الصعيد العالمي.

وقامت الوكالة، وهي التي قدمت الدعم التقني والخبرة إلى اليابان عقب الحادث وتبادلت مع العالم المعلومات حول الأزمة أثناء انكشافها، باستعراض وتحسين ترتيبات التصدي لطارئ نووي الخاصة بها. ولقد قمنا بتوسيع الدور الذي نضطلع به خلال طارئ نووي ليشمل التزويد بتحليل لعواقبه المحتملة وعرض السيناريوهات الممكنة بشأن الكيفية التي يمكن بها أن تتطور أزمة ما.

وتجسد معايير الأمان الصادرة عن الوكالة توافقًا دوليًا بشأن ما يشكِّل مستوى عاليًا من الأمان. ولقد تم استعراضها بعد وقوع الحادث من قبل لجنة معايير الأمان. كما تم اقتراح بعض التعديلات واعتمادها. وإني أشجع جميع البلدان على أن تنفِّذ معايير أمان الوكالة بشكل كامل.

وتضطلع استعراضات نظراء الوكالة بدور بارز في مجال الأمان النووي العالمي، إذ أنها تمكن البلدان من الاستفادة مما يقدمه الخبراء الدوليون الرائدون من أفكار مستقلة، استنادًا إلى الإطار المرجعي المشترك لمعايير الأمان الصادرة عن الوكالة. وتعالج هذه الاستعراضات مسائل من قبيل الأمان التشغيلي في محطات القوى النووية وفعالية كل من الهيئات الرقابية في المجال النووي وتصميم مواقع محطات القوى النووية في مواجهة مخاطر محددة. ولقد قمنا بتعزيز برنامج استعراض النظراء الخاص بنا منذ وقوع الحادث وسنواصل القيام بذلك.

وأنا واثق من أن إرث حادث فوكوشيما دايتشي سيحث على زيادة التركيز على الأمان النووي في جميع أنحاء المعمورة. ولقد رأيت ما أدخل من تحسينات على التدابير والإجراءات الخاصة بالأمان في كل محطة قوى نووية قمت بزيارتها. وهنالك اعتراف واسع النطاق بوجوب القيام بكل ما يمكن القيام به بشريًا لضمان عدم تكرار حادث كهذا على الإطلاق. وتزداد الأهمية التي يكتسيها هذا الأمر بما أنه من المرجح أن يستمر نمو الاستخدام العالمي للقوى النووية في العقود المقبلة.

ولا يمكن أن يكون هنالك أي مجال للتهاون في ما يتعلق بالأمان النووي في أي بلد. ثم إن بعض العوامل التي ساهمت في وقوع حادث فوكوشيما دايتشي لا تخص اليابان فقط. والتساؤل المستمر والانفتاح للتعلم من الخبرات المكتسبة هي عناصر أساسية لنشر ثقافة الأمان وهي ضرورية لجميع الضالعين في مجال القوى النووية. ويجب أن يولى الأمان النووي دائمًا المقام الأول.

وأودُّ أن أُعربَ عن عميق الامتنان للخبراء من العديد من البلدان والمنظمات الدولية الذين ساهموا في إعداد هذا التقرير، ولزملائي في الوكالة الذين قاموا بصياغته واستعراضه. وآمل أن يكون التقرير وما يصاحبه من مجلدات تقنية ذا منفعة لجميع الدول التي تستخدم أو تخطط لاستخدام القوى النووية في ما تبذله من جهود متواصلة لتحسين الأمان.

كلمة شكر

وردت المساعدة المالية من طرف كل من كندا واليابان والاتحاد الروسي والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية.

ووردت مساهمات عينيّة من كل من الاتحاد الروسي، والأرجنتين، وإسبانيا، وأستراليا، وإسرائيل، وألمانيا، والإمارات العربية المتحدة، وإندونيسيا، وأوكرانيا، وآيسلندا، وإيطاليا، وباكستان، والبرازيل، وبولندا، وبيلاروس، وتركيا، والجمهورية التشيكية، وجمهورية تنزانيا المتحدة، والجمهورية العربية السورية، وجمهورية كوريا، وجنوب أفريقيا، وسلوفاكيا، والسويد، وسويسرا، والصين، وغانا، وفرنسا، والفلبين، وفنلندا، وكندا، وكوبا، وماليزيا، والمغرب، والمكسيك، والمملكة المتحدة، والنرويج، ونيوزيلندا، والهند، وهولندا، والولايات المتحدة الأمريكية، واليابان. وبالإضافة إلى ذلك، وردت مساهمات عينيّة من المفوضية الأوروبية، ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، واللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات، ومنظمة العمل الدولية، والفريق الدولي للأمان النووي، ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، والرابطة العالمية للمشغلين النوويين، والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية.

وقدمّت حكومة اليابان دعمًا قيِّمًا بتوفير كمية كبيرة من المعلومات، وتيسير الترتيبات للخبراء اليابانيين بُغية دعم إعداد التقرير وضمان توافر المساعدة اللوجستية للاجتماعات الثنائية الأطراف في اليابان.

وقدّمت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري الدعم للوكالة من خلال تعميم قاعدة البيانات ذات الصلة الخاصة بالمراجع من تقريرها لعام ٢٠١٣ وبإتاحة معلومات وأشكال توضيحية من التقرير المذكور قصد إعادة نشرها.

وتُعرب الوكالة عن شكرها للعدد الكبير من الخبراء الذين شاركوا في إعداد هذا التقرير. وهذا التقرير هو نتيجة للجهود المتفانية التي بذلها عدة أشخاص. و قدّم جميع المشاركين المسرودة أسماؤهم في نهاية هذا التقرير مساهمات قيِّمة، وقد تحمّل الرؤساء المشتركون والمنسّقون التابعون للأفرقة العاملة عبئًا ثقيلاً بشكل خاص. كما يعود الشكر الجزيل للعديد من المستعرضين الخبراء من ضمنهم أعضاء الفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية على الجهود التي بذلوها.

المحتويات

موجز جامع ١

تقرير موجز ٢١

١- مقدمة ٢١

١-١- تقرير عن حادث فوكوشيما دايتشي ٢٢

٢- الحادث وتقييمه ٢٥

٢-١- وصف الحادث ٢٥

٢-١-١- الحدث البادئ والتصدي ٢٥

٢-١-٢- تطورات الحادث ٣٥

٢-١-٣- جهود تحقيق الاستقرار ٤٨

٢-٢- اعتبارات الأمان النووي ٥٢

٢-٢-١- تعرض المحطة للأحداث الخارجية ٥٢

٢-٢-٢- تطبيق مفهوم الدفاع في العمق ٥٧

٢-٢-٣- تقييم الإخفاق في أداء وظائف الأمان الأساسية ٦٠

٢-٢-٤- تقييم الحوادث غير المحتاط لها في التصميم والتصدي للحوادث ٦٥

٢-٢-٥- تقييم الفعالية الرقابية ٧٠

٢-٢-٦- تقييم العوامل البشرية والتنظيمية ٧٥

٢-٣- الملاحظات والدروس ٧٧

٣- التأهب والتصدي للطوارئ ٨٢

٣-١- التصدي الأوَّلي للحادث في اليابان ٨٣

٣-١-١- الإخطار ٨٤

٣-١-٢- الإجراءات التخفيفية ٨٥

٣-١-٣- إدارة حالة الطوارئ ٨٧

٣-٢- وقاية عمال الطوارئ ٩٠

٣-٢-١- وقاية العاملين في المحطة عقب وقوع الزلزال والتسونامي ٩٠

٣-٢-٢- تدابير وقاية عمال الطوارئ ٩١

٣-٢-٣- تعيين عمال الطوارئ ٩٢

٣-٢-٤- الإدارة الطبية لعمال الطوارئ ٩٢

٣-٣- وقاية الجمهور ٩٣

٣-٣-١- الإجراءات الوقائية العاجلة والترحيل ٩٤

٣-٣-٢- الإجراءات الوقائية المتصلة بالأغذية ومياه الشرب والزراعة ٩٨

٣-٣-٣- الإعلام العام ١٠٠

٣-٣-٤- التجارة الدولية ١٠١

٣-٣-٥- التصرف في النفايات في مرحلة الطوارئ ١٠١
٣-٤- الانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي و تحاليل التصدي ١٠٢
٣-٤-١- الانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي ١٠٣
٣-٤-٢- تحاليل التصدي ١٠٣
٣-٥- التصدي ضمن الإطار الدولي للتأهب والتصدي للطوارئ ١٠٤
٣-٦- الملاحظات والدروس ١٠٧
٤- العواقب الإشعاعية ١١١
٤-١- النشاط الإشعاعي في البيئة ١١٦
٤-١-١- الانبعاثات ١١٧
٤-١-٢- التشتت ١١٨
٤-١-٣- الترسب ١٢٢
٤-١-٤- المنتجات الاستهلاكية ١٢٤
٤-٢- وقاية الناس من التعرض للإشعاعات ١٢٨
٤-٢-١- الحد من تعرض الجمهور ١٢٨
٤-٢-٢- تقييد التعرض المهني بما في ذلك تعرض عمال الطوارئ ١٣١
٤-٣- التعرّض للإشعاعات ١٣٢
٤-٣-١- تعرض الجمهور ١٣٤
٤-٣-٢- التعرض المهني ١٤٠
٤-٤- الآثار الصحية ١٤٤
٤-٤-١- الآثار الصحية المبكرة المستحثة إشعاعيًا ١٤٥
٤-٤-٢- الآثار الصحية المتأخرة المستحثة إشعاعيًا المحتملة ١٤٦
٤-٤-٣- الآثار الإشعاعية على الأطفال ١٤٧
٤-٤-٤- الآثار الصحية المستحثة إشعاعيًا السابقة للولادة ١٤٨
٤-٤-٥- الآثار النفسية ١٤٩
٤-٥- العواقب الإشعاعية على الكائنات الحية غير البشرية ١٥٠
٤-٦- الملاحظات والدروس ١٥٢
٥- التعافي بعد الحادث ١٥٦
٥-١- استصلاح المناطق المتضرِّرة من جرّاء الحادث خارج الموقع ١٥٦
٥-١-١- إنشاء إطار قانوني ورقابي للاستصلاح ١٥٧
٥-١-٢- استراتيجية الاستصلاح المعتمدة ١٥٨
٥-١-٣- التقدُّم في مسار الاستصلاح ١٥٩
٥-٢- تحقيق استقرار الظروف داخل الموقع والأعمال التحضيرية للإخراج من الخدمة ١٦٣
٥-٢-١- الخطة الاستراتيجية ١٦٤
٥-٢-٢- الأعمال التحضيرية للإخراج من الخدمة ١٦٤

٥-٢-٣- التصرُّف في المياه الملوَّثة ١٦٥
٥-٢-٤- إزالة الوقود المستهلَك وحطام الوقود ١٦٨
٥-٢-٥- الإخراج من الخدمة والحالة النهائية للموقع ١٧٠
٥-٣- التصرُّف في المواد الملوّثة والنفايات المشعَّة ١٧١
٥-٣-١- التصرُّف في النفايات ١٧١
٥-٣-٢- الأنشطة خارج الموقع ١٧١
٥-٣-٣- الأنشطة في الموقع ١٧٤
٥-٤- إنعاش المجتمعات المحلية ومشاركة الجهات المعنية ١٧٥
٥-٤-١- العواقب الاقتصادية الاجتماعية ١٧٥
٥-٤-٢- الإنعاش ١٧٧
٥-٤-٣- مشاركة الجهات المعنية والتواصل معها ١٧٧
٥-٥- الملاحظات والدروس ١٧٩
٦- تصدي الوكالة للحادث ١٨٢
٦-١- أنشطة الوكالة ١٨٢
٦-١-١- الأنشطة الأوَّلية ١٨٢
٦-١-٢- بعثات الوكالة إلى اليابان ١٨٤
٦-١-٣- مؤتمر الوكالة الوزاري بشأن الأمان النووي ١٨٤
٦-١-٤- خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي ١٨٦
٦-١-٥- التعاون مع محافظة فوكوشيما ١٨٦
٦-١-٦- مؤتمر فوكوشيما الوزاري بشأن الأمان النووي ١٨٨
٦-٢- اجتماعات الأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي ١٨٨
٦-٢-١- الاجتماع الاستثنائي للأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي ١٨٨
٦-٢-٢- الاجتماع الاستعراضي السادس للأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي ١٨٩
٦-٢-٣- المؤتمر الدبلوماسي وإعلان فيينا بشأن الأمان النووي ١٩٠
المراجع ١٩١
قائمة المختصرات ٢١٧
المساهمون في الصياغة والاستعراض ٢١٨
الفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية ٢٢١
الاجتماعات ٢٣٣
ملحوظة بشأن حقوق النشر ٢٣٥
ملحوظة تحريرية ٢٣٦

حادث فوكوشيما دايتشي

موجز جامع

وقع الزلزال الكبير الذي ضرب شرق اليابان في ١١ آذار/مارس ٢٠١١. ونجم هذا الزلزال عن انطلاق فجائي للطاقة في نقطة الالتقاء التي تندفع فيها الصفيحة التكتونية للمحيط الهادئ تحت الصفيحة التكتونية لأمريكا الشمالية. وتصدَّع قطاع من القشرة الأرضية يقدَّر بنحو ٥٠٠ كم طولاً و٢٠٠ كم عرضاً، مما تسبب في وقوع زلزال عنيف بقوة ٩ درجات وتسونامي اجتاح مساحة كبيرة من ساحل اليابان، بما في ذلك الساحل الشمالي الشرقي الذي بلغ فيه ارتفاع عدة أمواج أكثر من عشرة أمتار. وتسبب الزلزال والتسونامي في خسائر فادحة في الأرواح ودمار واسع في اليابان. ولقي أكثر من ١٥ ٠٠٠ شخص حتفهم، وأصيب ما يزيد على ٦٠٠٠ شخص بجروح، وفي وقت كتابة هذا التقرير[١] كانت الأنباء تفيد بأنَّ قرابة ٢٥٠٠ شخص ما زالوا في عداد المفقودين. ولحقت بالمباني والبنية الأساسية أضرار هائلة، لا سيما على طول الساحل الشمالي الشرقي لليابان.

وفي محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية التي تتولى تشغيلها شركة طوكيو للطاقة الكهربائية (شركة تيبكو)، ألحق الزلزال أضرارًا بخطوط إمدادات القوى الكهربائية في الموقع وألحقت التسونامي دماراً هائلاً بالبنية الأساسية التشغيلية والبنية الأساسية للأمان في الموقع. وأدى الأثر المشترك إلى انقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع وداخله. وأسفر ذلك عن توقف وظيفة التبريد في وحدات المفاعل[٢] العاملة الثلاث وكذلك في أحواض الوقود المستهلك. وتأثرت أيضاً محطات القوى النووية الأربع الأخرى[٣] على طول الساحل بدرجات متفاوتة جراء الزلزال والتسونامي. ولكنَّ جميع وحدات المفاعل العاملة في هذه المحطات أُغلِقت بصورة آمنة.

وبالرغم من الجهود التي بذلتها الجهات المشغِّلة في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية للحفاظ على التحكم، ارتفعت درجة حرارة قلب المفاعل في الوحدات من ١ إلى ٣ ارتفاعاً مفرطاً، وانصهر الوقود النووي، وتصدَّعت أوعية الاحتواء الثلاثة. وانطلق الهيدروجين من أوعية ضغط المفاعلات، وأدَّى ذلك إلى وقوع انفجارات داخل مباني المفاعلات في الوحدات ١ و٣ و٤ مما تسبب في إتلاف الهياكل والمعدات وإصابة العاملين. وانطلقت نويدات مشعة من المحطة إلى الغلاف الجوي وترسَّبت على الأرض وفي مياه المحيط. ووقعت أيضاً انبعاثات مباشرة إلى البحر.

وتم إجلاء الأشخاص الذين كانوا على مسافة شعاع طوله ٢٠ كم من الموقع وفي المناطق المعيَّنة الأخرى، وصدرت تعليمات إلى الأشخاص الذين كانوا على مسافة شعاع يتراوح طوله بين ٢٠ و٣٠ كم بالاحتماء قبل إبلاغهم لاحقاً بإخلاء المكان طواعية. وفُرِضت قيود على توزيع الأغذية واستهلاكها وعلى استهلاك مياه الشرب. وفي وقت كتابة هذا التقرير، كان هناك عدة أشخاص يعيشون خارج المناطق التي جرى إجلاؤهم منها.

---

[١] آذار/ مارس ٢٠١٥. أتيحت في بعض الحالات معلومات حتى حزيران/يونيه ٢٠١٥ وأدرجت تلك المعلومات، حيثما أمكن.

[٢] من بين الوحدات الست التي تتألف منها محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية، كانت الوحدات ١ و٢ و٣ هي التي تعمل وقت وقوع الحادث؛ أما الوحدات ٤ و٥ و٦ فقد كانت في حالة إغلاق وِفق خطة موضوعة.

[٣] محطات هيغاشيدوري، وأوناغاوا، وفوكوشيما دايني، وطوكاي دايني للقوى النووية.

وبعد استقرار ظروف المفاعلات في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية[٤]، بدأ العمل على التحضير للإخراج النهائي من الخدمة. واستُهلَّت في عام ٢٠١١ جهود تعافي المناطق المتأثرة بالحادث، بما في ذلك استصلاح المجتمعات والبنية الأساسية وإنعاشها.

ومباشرة بعد وقوع الحادث، اضطلعت الوكالة بدورها في التصدي للطوارئ. وفعَّلت نظام التصدي للحادثات والطوارئ التابع لها، ونسَّقت أنشطة التصدي المشتركة بين الوكالات، واستهلت سلسلة من الجلسات الإعلامية مع الدول الأعضاء ووسائط الإعلام.

وقام المدير العام فورًا بزيارة لليابان وأوفدت الوكالة العديد من البعثات إلى اليابان، وشمل ذلك بعثة دولية لتقصي الحقائق وبعثات استعراض النظراء بشأن الإخراج من الخدمة والاستصلاح.

ونظَّمت الوكالة مؤتمرًا وزاريًا بشأن الأمان النووي في حزيران/يونيه ٢٠١١، وتمخض عنه إعلان وزاري بشأن الأمان النووي. وحدَّد هذا الإعلان عددًا من التدابير لزيادة تحسين الأمان النووي، والتأهب للطوارئ ووقاية الناس والبيئة من الإشعاعات في جميع أنحاء العالم. كما أنّه عبَّر عن الالتزام الراسخ للدول الأعضاء في الوكالة بالحرص على أن تُتَخذ هذه التدابير.

وطلب الإعلان الوزاري كذلك من المدير العام إعداد مسودة خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي (خطة العمل)[٥]، بالتشاور مع الدول الأعضاء. وأقرَّ المؤتمر العام للوكالة في دورته العادية الخامسة والخمسين في ٢٠١١ بالإجماع خطة العمل، التي حدّدت برنامج عمل لتعزيز الإطار العالمي للأمان النووي.

واضطلعت الوكالة كذلك بأنشطة تعاونية في فوكوشيما من خلال مذكرة التعاون بين الوكالة ومحافظة فوكوشيما. وأرسى ذلك الأساس للتعاون بشأن رصد الإشعاعات والاستصلاح والصحة البشرية والتأهب للطوارئ والتصدي لها.

وسهَّلت الوكالة كذلك ونظَّمت عددًا من المؤتمرات والاجتماعات الدولية لدولها الأعضاء والأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي. وأُجري العديد من هذه الأنشطة في إطار خطة العمل.

ومنذ الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، أُجريت عدة تحليلات لأسبابه وعواقبه، كما كانت هناك دراسات مفصَّلة لتداعياته على الأمان النووي قامت بها الدول الأعضاء في الوكالة والمنظمات الدولية وكذلك الدول الأطراف في الصكوك الدولية للأمان النووي، ولا سيما اتفاقية الأمان النووي. وعُقد اجتماع استثنائي للأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي في آب/أغسطس ٢٠١٢ لاستعراض ومناقشة التحليلات الأولية للحادث وفعالية الاتفاقية.

---

[٤] في ١٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١، أعلن مكتب التصدي المتكامل المشترك بين الحكومة وشركة تيبكو أنَّ شروط 'حالة الإغلاق على البارد' قد تحققت في الوحدات من ١ إلى ٣. وعرَّفت حكومة اليابان مصطلح 'حالة الإغلاق على البارد' في ذلك الوقت تحديداً لمحطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. ويختلف تعريف المصطلح عن تعريفه المستخدم في الوكالة وفي غيرها.

[٥] حدَّدت خطة العمل برنامج عمل من أجل تعزيز الإطار العالمي للأمان النووي. وتشمل خطة العمل ١٢ إجراءً رئيسياً متصلاً بما يلي: تقييمات الأمان؛ واستعراضات النظراء التي تُجريها الوكالة؛ والتأهب والتصدي للطوارئ؛ والهيئات الرقابية الوطنية؛ والمنظمات المشغِّلة؛ ومعايير أمان الوكالة؛ والإطار القانوني الدولي؛ والدول الأعضاء التي تخطط للشروع في برنامج للقوى النووية؛ وبناء القدرات؛ ووقاية الناس والبيئة من الإشعاعات المؤينة؛ والتواصل وتعميم المعلومات؛ وأنشطة البحث والتطوير. لمزيد من التفاصيل، انظر القسم ٦-١.

وأفادت الأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي في الاجتماع الاستعراضي السادس الذي نُظِّم في آذار/مارس-نيسان/أبريل ٢٠١٤ عن تنفيذ عمليات الارتقاء بالأمان، بما في ذلك: إدخال وسائل إضافية تتحمل فقدان القوى والتبريد لفترات طويلة؛ وتطوير نُظم القوى لتحسين الموثوقية؛ وإعادة تقييم الأخطار الطبيعية الخارجية التي تتعرض لها مواقع بعينها، والأحداث في المواقع المتعددة الوحدات؛ وإدخال تحسينات في مراكز التحكم في حالات الطوارئ داخل الموقع وخارجه من أجل ضمان الوقاية من الأحداث الخارجية الشديدة والمخاطر الإشعاعية؛ وتعزيز تدابير الحفاظ على سلامة الاحتواء؛ وتحسين الترتيبات والمبادئ التوجيهية المتعلقة بالتصدي للحوادث العنيفة.

وفي شباط/فبراير ٢٠١٥، اعتمدت الأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي في مؤتمر دبلوماسي عقده المدير العام للوكالة إعلان فيينا بشأن الأمان النووي الذي يشمل المبادئ الكفيلة بتنفيذ الهدف الثالث للاتفاقية، وهو الحيلولة دون وقوع حوادث ذات عواقب إشعاعية، والتخفيف من حدة هذه العواقب في حال وقوعها.

التقرير عن حادث فوكوشيما داييتشي

أعلن المدير العام في المؤتمر العام للوكالة في أيلول/سبتمبر ٢٠١٢ أنَّ الوكالة ستُعد تقريراً عن حادث فوكوشيما داييتشي. وصرَّح المدير العام بعد ذلك بأنَّ هذا التقرير سيكون "تقييمًا ذا حجية وقائمًا على الوقائع ومتوازنًا، يعالج أسباب الحادث وعواقبه، وكذلك الدروس المستفادة منه".

والتقرير عن حادث فوكوشيما داييتشي هو ثمرة تعاون دولي موسَّع بين خمسة أفرقة عاملة ضمت نحو ١٨٠ خبيراً من ٤٢ دولة عضواً (حائزة وغير حائزة لبرامج قوى نووية) والعديد من الهيئات الدولية. وكان ذلك كفيلاً بتحقيق تمثيل واسع للخبرة والمعرفة. وقدَّم فريق استشاري تقني دولي المشورة بشأن القضايا التقنية والعلمية. وأنشئ فريق أساسي مؤلَّف من الإدارة العليا في الوكالة من أجل تقديم التوجيه وتيسير التنسيق واستعراض التقرير. وأنشئت آليات استعراض إضافية داخلية وخارجية.

ويتألَّف هذا التقرير الصادر عن المدير العام من موجز جامع وتقرير موجز. وهو يعتمد على خمسة مجلدات تقنية مفصَّلة من إعداد خبراء دوليين وعلى مساهمات العديد من الخبراء والهيئات الدولية المعنية. ويتضمن التقرير وصفاً للحادث وأسبابه وتطوره وعواقبه، بالاستناد إلى تقييم البيانات والمعلومات المستمدة من عدد كبير من المصادر المتاحة حتى آذار/مارس ٢٠١٥، بما يشمل نتائج الأعمال التي جرى الاضطلاع بها تنفيذاً لخطة العمل، وهو يسلِّط الضوء على الملاحظات والدروس الرئيسية. وقدَّمت حكومة اليابان وسائر المنظمات في اليابان كميات كبيرة من البيانات.

اعتبارات الأمان النووي

ضعف المحطة أمام الأحداث الخارجية

تسبَّب الزلزال الذي وقع في ١١ آذار/مارس ٢٠١١ في حدوث حركات أرضية ارتجاجية هزّت هياكل المحطة ونظمها ومكوِّناتها. وتبعت ذلك سلسلة من أمواج التسونامي أغرقت إحداها الموقع. وتجاوزت الحركات الأرضية وارتفاعات أمواج التسونامي المسجلة بكثير افتراضات المخاطر التي وُضعت في التصميم الأصلي للمحطة. وأثَّر الزلزال والتسونامي المرتبط به في وحدات متعددة في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية.

وكانت المخاطر الزلزالية وأمواج التسونامي التي أُخذت في الاعتبار في التصميم الأصلي قد قُيِّمت أساساً بالاستناد إلى السجلات الزلزالية التاريخية والأدلة المستقاة من أمواج التسونامي التي وقعت مؤخراً في اليابان. ولم يأخذ هذا التقييم الأصلي في الاعتبار بصورة كافية المعايير التكتونية الجيولوجية و لم تجر أي إعادة تقييم باستخدام تلك المعايير.

وقبل وقوع الزلزال، صُنف خندق اليابان بأنه منطقة اندساسية تتكرر فيها زلازل بقوة ٨ درجات؛ ولم يعتبر العلماء اليابانيون وقوع زلزال بقوة ٩ درجات قبالة ساحل محافظة فوكوشيما أمرًا ممكنًا. ومع ذلك فقد سُجلت زلازل بقوة مماثلة أو أعلى في مناطق مختلفة في بيئات تكتونية مماثلة في العقود القليلة الأخيرة.

ولم تكن هناك أي مؤشرات تدل على تأثر سمات الأمان الرئيسية في المحطة جراء الحركات الأرضية الارتجاجية التي نتجت عن الزلزال الذي وقع في ١١ آذار/مارس ٢٠١١. وكان ذلك راجعاً إلى النهج المتحفِّظ إزاء الزلازل المتوخى في تصميم محطات القوى النووية وتشييدها في اليابان وهو ما أفضى إلى محطة وفرت هوامش كافية من الأمان. غير أنَّ الاعتبارات التصميمية الأصلية لم توفر هوامش أمان مماثلة لأحداث الفيضانات الخارجية العنيفة، مثل أمواج التسونامي.

ولم تتم إعادة تقييم ضعف محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية أمام المخاطر الخارجية بطريقة منهجية وشاملة خلال عمرها التشغيلي. ولم تكن هناك وقت وقوع الحادث أي متطلبات رقابية في اليابان بشأن عمليات إعادة التقييم المذكورة، ولم تراع على النحو الكافي في اللوائح والمبادئ التوجيهية القائمة الخبرة التشغيلية المحلية والدولية ذات الصلة. وكانت المبادئ التوجيهية الرقابية في اليابان المتعلقة بأساليب التعامل مع تأثيرات الأحداث المتصلة بالزلازل، مثل أمواج التسونامي، عامة وموجزة ولم توفر معايير محددة أو إرشادات مفصلة.

وقبل وقوع الحادث، أجرى المشغِّل بعض عمليات إعادة تقييم مستويات فيضانات التسونامي العنيفة باستخدام منهجية توافقية طُوِّرت في اليابان في عام ٢٠٠٢ وأسفرت عن قيم أعلى من القيم الأصلية المحتاط لها في التصميم. واتُخذت بعض التدابير التعويضية على أساس النتائج، ولكنها أثبتت عدم كفايتها وقت وقوع الحادث.

وبالإضافة إلى ذلك، أجرى المشغِّل قبل الحادث عدة حسابات تجريبية باستخدام نماذج أو منهجيات مصادر الأمواج تجاوزت المنهجية التوافقية. وهكذا توقع الحساب التجريبي باستخدام نموذج المصدر الذي اقترحه المقر الرئيسي الياباني لتعزيز بحوث الزلازل في عام ٢٠٠٢ الذي استخدم آخر المعلومات واتخذ نهجاً مختلفاً في سيناريوهاته، حدوث تسونامي أكبر كثيراً من التسونامي المحتاط له في التصميم الأصلي وفي التقديرات التي أجريت في عمليات إعادة التقييم السابقة. ووقت وقوع الحادث، كانت هنالك تقييمات أخرى قيد التنفيذ، ولكن لم تنفذ في غضون ذلك أي تدابير تعويضية إضافية. وكانت القيم المقدرة مماثلة لمستويات الفيضان المسجلة في آذار/مارس ٢٠١١.

وأبرزت الخبرة التشغيلية على الصعيد العالمي حالات تجاوزت فيها المخاطر الطبيعية الأساس التصميمي الأصلي لمحطة القوى النووية. وعلى وجه الخصوص، برهنت الخبرات المستقاة من بعض هذه الأحداث على ضعف نظم الأمان إزاء الفيضانات.

— **من الضروري أن يكون التقييم الذي يجري للمخاطر الطبيعية تقييمًا متحفظًا بما فيه الكفاية. والنظر في البيانات التاريخية بالأساس في إرساء الأساس التصميمي لمحطات القوى النووية لا يكفي لتحديد**

خصائص أخطار المخاطر الطبيعية العنيفة. وحتى في حالة وجود بيانات شاملة، فإنه بسبب فترات الملاحظة القصيرة نسبيًا تظل هناك حالات عدم تيقن كبيرة في توقع المخاطر الطبيعية.

- **ومن الضروري إعادة تقييم أمان محطات القوى النووية دوريًا من أجل النظر في أوجه التقدم في المعارف، ومن الضروري تنفيذ الإجراءات التصحيحية أو التدابير التعويضية على وجه السرعة.**
- **ومن الضروري أن يراعي تقييم المخاطر الطبيعية احتمال وقوعها مجتمعة، إما في وقت واحد أو الواحدة تلو الأخرى، ويراعي آثارها المجتمعة في محطة القوى النووية. ومن الضروري كذلك أن يراعي تقييم المخاطر الطبيعية آثارها في وحدات متعددة في محطة القوى النووية.**
- **ومن الضروري أن تضم برامج الخبرة التشغيلية الخبرة المستمدة من المصادر الوطنية والدولية على حد سواء. ومن الضروري أن تُنفَّذ على وجه السرعة تحسينات الأمان المحددة من خلال برامج الخبرة التشغيلية. ومن الضروري تقييم استخدام الخبرة التشغيلية دوريًا وبشكل مستقل.**

تطبيق مفهوم الدفاع في العمق

الدفاع في العمق مفهوم طُبِّق لضمان أمان المنشآت النووية منذ بداية تطوير القوى النووية. والهدف منه هو التعويض عن الإخفاقات البشرية وإخفاقات المعدات المحتملة عن طريق تطبيق عدة مستويات من الوقاية. ويُقدَّم الدفاع من خلال وسائل متعددة ومستقلة في كل مستوى من مستويات الوقاية.

وأتاح تصميم محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بالنسبة إلى أول ثلاثة مستويات من الدفاع في العمق ما يلي من معدات ونظم: (١) معدات يقصد بها توفير تشغيل عادي موثوق؛ (٢) معدات يقصد بها إعادة المحطة إلى حالة آمنة في أعقاب حدث غير عادي (٣) نظم أمان يقصد بها التصدي لظروف الحوادث. وتم استخلاص قواعد التصميم باستخدام طائفة من المخاطر المفترضة؛ غير أن الأخطار الخارجية مثل أمواج التسونامي لم تعالج على الوجه الأكمل. وبالتالي، شكلت الفيضانات الناتجة عن أمواج التسونامي في وقت واحد تحديًا بالنسبة للمستويات الوقائية الثلاثة الأولى من الدفاع في العمق، مما أسفر عن إلحاق أعطال مشتركة السبب بالمعدات والنظم في كل مستوى من المستويات الثلاثة.

وأفضت الأعطال المشتركة السبب التي لحقت بنظم الأمان المتعددة عن حدوث ظروف في المحطة لم تكن متوقعة في التصميم. وبالتالي، فإنَّ وسائل الوقاية المقصود منها توفير المستوى الرابع من الدفاع في العمق، وهو منع تطور الحوادث العنيفة والتخفيف من عواقبها، لم تكن متاحة لإصلاح نظام تبريد المفاعل والحفاظ على سلامة الاحتواء. وأدى الانقطاع الكامل للقوى، والافتقار إلى معلومات بشأن بارامترات الأمان ذات الصلة بسبب عدم توافر الأجهزة الضرورية، وتوقف أجهزة التحكم، وعدم كفاية إجراءات التشغيل إلى الحيلولة دون وقف تطور الحادث والحد من عواقبه.

وأدى تعطل توفير وسائل وقاية كافية في كل مستوى من مستويات الدفاع في العمق إلى إصابة المفاعلات في الوحدات ١ و٢ و٣ بأضرار شديدة وإلى انطلاق كميات كبيرة من المواد المشعة من هذه الوحدات.

- **يظل مفهوم الدفاع في العمق مفهوما ساريًا، ولكن تنفيذ المفهوم يحتاج إلى تعزيزه على جميع المستويات عن طريق توفير الاستقلالية الكافية والاحتياط والتنوع والوقاية من المخاطر الداخلية والخارجية. وهناك حاجة للتركيز ليس فقط على الوقاية من الحادث، وإنما أيضًا على تحسين تدابير التخفيف.**

— **ومن الضروري أن تظل الأجهزة ونظم التحكم اللازمة خلال الحوادث غير المحتاط لها في التصميم جاهزة للتشغيل بغية رصد البارامترات الأساسية لأمان المحطة وتسهيل عمليات تشغيل المحطة.**

تقييم الإخفاق في أداء وظائف الأمان الأساسية

وظائف الأمان الأساسية الثلاث الهامة لضمان الأمان هي: التحكم في تفاعلية الوقود النووي؛ وإزالة الحرارة من قلب المفاعل وحوض الوقود المستهلك؛ واحتواء المواد المشعة. وعقب وقوع الزلزال، تحققت وظيفة الأمان الأساسية الأولى، وهي التحكم في التفاعلية، في كل الوحدات الست في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية.

وتعذَّر الحفاظ على وظيفة الأمان الأساسية الثانية، وهي إزالة الحرارة من قلب المفاعل وحوض الوقود النووي، نظرًا إلى حرمان المشغلين من أغلبية وسائل التحكم في مفاعلات الوحدات ١ و٢ و٣، وأحواض الوقود المستهلك نتيجة لتوقف معظم النُظم الكهربائية العاملة بالتيار المتردد والتيار المستمر. وكان فقدان وظيفة الأمان الأساسية الثانية، في جانب منه، ناجمًا عن الإخفاق في تنفيذ عملية حقن المياه بمعدات بديلة بسبب تأخر تخفيف الضغط عن أوعية ضغط المفاعلات. وأدّى توقف التبريد إلى ارتفاع مفرط في حرارة الوقود وانصهاره في المفاعلات.

وفُقِدت وظيفة الاحتواء بسبب انقطاع التيار الكهربائي المتردد والتيار المستمر وأدّى ذلك إلى توقف نُظم التبريد وصعّب على المشغلين استخدام نظام تهوية الاحتواء. وكانت تهوية نظام الاحتواء ضرورية للحيلولة دون تعطله. وتمكَّن المشغلون من تهوية الوحدتين ١ و٣ لتخفيف الضغط في أوعية الاحتواء الأولية، غير أن ذلك أسفر عن انطلاق مواد مشعة في البيئة. ورغم أنَّ نظم التهوية فيما يتعلق بالوحدتين ١ و٣ كانت مفتوحة، فإنَّ أوعية الاحتواء الأولية قد تعطَّلت في نهاية المطاف فيما يتعلق بالوحدتين ١ و٣. وفي حالة الوحدة ٢، لم تنجح تهوية الاحتواء، وتعطل نظام الاحتواء مما تسبب في انطلاق مواد مشعة.

— **من الضروري توفير نظم تبريد متينة وموثوقة قادرة على العمل في ظروف الحوادث المحتاط لها وغير المحتاط لها في التصميم من أجل إزالة الحرارة المتبقية.**

— **وهناك حاجة إلى ضمان وظيفة احتواء موثوقة فيما يتعلق بالحوادث غير المحتاط لها في التصميم من أجل منع الانبعاثات الكبيرة من المواد المشعة في البيئة.**

تقييم الحوادث غير المحتاط لها في التصميم والتصدي للحوادث

إنَّ تحليلات الأمان التي أُجريت خلال عملية الترخيص لمحطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية وخلال تشغيلها لم تتناول بالكامل إمكانية حدوث سلسلة معقدة من الأحداث التي قد تؤدي إلى أضرار جسيمة في قلب المفاعل. وأخفقت تحليلات الأمان على وجه الخصوص في تحديد ضعف المحطة أمام الفيضانات وتحديد مواطن ضعفها في إجراءات التشغيل وفي المبادئ التوجيهية للتصدي للحوادث. ولم تتناول تحليلات الأمان الاحتمالية إمكانية حدوث فيضانات داخلية، كما أنَّ الافتراضات المتعلقة بالأداء البشري للتصدي للحوادث كانت تدعو إلى التفاؤل. وعلاوة على ذلك، لم تفرض الهيئة الرقابية إلا متطلبات محدودة لكي يتسنى للمشغلين النظر في إمكانية حصول حوادث عنيفة.

ولم يكن المشغلون على استعداد تام لمواجهة انقطاع الكهرباء عن وحدات متعددة وفقدان نظام التبريد جراء التسونامي. وصحيح أنَّ شركة تيبكو قد أعدَّت مبادئ توجيهية في التصدي للحوادث العنيفة، إلا أنَّ تلك المبادئ

لم تتطرَّق إلى هذه التوليفة المستبعدة من الأحداث. وبناء على ذلك، فإنَّ المشغلين لم يتلقوا التدريب المناسب ولم يشاركوا في تمارين التصدي للحوادث العنيفة، ذات الصلة، ولم تكن المعدات المتاحة لهم مناسبة في الظروف المتدهورة التي عرفتها المحطة.

وفي أيلول/سبتمبر ٢٠١٢، أنشئت هيئة الرقابة النووية. ووضعت الهيئة لوائح جديدة بشأن محطات القوى النووية من أجل وقاية الناس والبيئة، ودخلت تلك اللوائح حيز النفاذ في عام ٢٠١٣. وعززت اللوائح التدابير المضادة للحيلولة دون فقدان كل وظائف الأمان في آن واحد نتيجة لأسباب مشتركة، بما في ذلك إعادة تقييم أثر الأحداث الخارجية، من قبيل الهزات الأرضية وموجات التسونامي. واتخذت أيضاً تدابير مضادة جديدة للتصدي للحوادث العنيفة من أجل مواجهة تضرر قلوب المفاعلات، وتضرر وعاء الاحتواء، وانتشار مواد مشعة.

— **من الضروري إجراء تحليلات الأمان الاحتمالية والقطعية الشاملة لتأكيد قدرة أي محطة على مواجهة الحوادث السارية غير المحتاط لها في التصميم ولتوفير درجة عالية من الثقة في متانة تصميم المحطة.**
— **ومن الضروري أن تكون ترتيبات التصدي للحوادث شاملة ومصممة بشكل جيد وحديثة. ومن الضروري أن تُستخلص استنادًا إلى مجموعة شاملة من الأحداث البادئة وظروف المحطات، ومن الضروري أيضًا أن تراعي الحوادث التي تؤثر في العديد من الوحدات في المحطة المتعددة الوحدات.**
— **ومن الضروري أن تتضمن التدريبات والتمارين وتدريبات الطوارئ الظروف التي يفترض أنها تفضي إلى وقوع حوادث عنيفة من أجل ضمان استعداد المشغلين أفضل استعداد ممكن. ومن الضروري أن يشمل ذلك محاكاة استخدام المعدات الفعلية التي يمكن نشرها في حالة التصدي لحادث عنيف.**

تقييم الفعالية الرقابية

نُفِّذ التنظيم الرقابي للأمان النووي في اليابان في وقت وقوع الحادث من طرف عدد من الهيئات التي تضطلع بأدوار ومسؤوليات مختلفة وتربطها علاقات متبادلة معقَّدة. ولم يكن واضحًا تمامًا أي الهيئات لها مسؤولية وسلطة إصدار تعليمات ملزمة بشأن كيفية معالجة قضايا الأمان بدون تأخير.

وقد كان برنامج التفتيش الرقابي مُنظَّما بشكل صارم، مما أضعف قدرة الهيئة الرقابية على التحقق من الأمان في الأوقات المناسبة وتحديد قضايا الأمان الجديدة المحتملة.

ولم تكن اللوائح والمبادئ التوجيهية والإجراءات القائمة في وقت وقوع الحادث متسقة تمامًا مع الممارسة الدولية في بعض المجالات الرئيسية، وأهمها المجالات المتعلقة باستعراضات الأمان الدورية، وإعادة تقييم المخاطر، والتصدي للحوادث العنيفة، وثقافة الأمان.

— **من أجل ضمان فعالية الإشراف الرقابي على أمان المنشآت النووية، من الضروري أن تكون الهيئة الرقابية مستقلة وأن تتمتع بسلطة قانونية وباختصاص تقني وبثقافة أمان قوية.**

تقييم العوامل البشرية والتنظيمية

قبل وقوع الحادث، كان هناك افتراض أساسي في اليابان بأن تصميم محطات القوى النووية وتدابير الأمان التي وُضعت في هذا الصدد لم تكن متينة بما فيه الكفاية لكي تتحمّل الأحداث الخارجية الضعيفة الاحتمال والشديدة العواقب.

ونظرًا للافتراض الأساسي بأنَّ محطات القوى النووية في اليابان كانت آمنة، فقد كان هناك اتجاه لدى المنظمات وموظفيها يميل إلى عدم الطعن في مستوى الأمان. وأسفر انتشار الافتراض الأساسي فيما بين الجهات المعنية حول متانة التصميم التقني لمحطات القوى النووية عن وجود حالة لم تدخل فيها تحسينات الأمان بسرعة.

وأظهر حادث محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية أنه من أجل تحديد نقاط الضعف بأسلوب أفضل في المحطة، من الضروري اتباع نهج متكامل يراعي التفاعلات المعقدة بين الأشخاص والمنظمات والتكنولوجيا.

— **ومن أجل ترويج وتعزيز ثقافة الأمان، من الضروري أن يطعن الأفراد والمنظمات أو يعيدوا النظر باستمرار في الافتراضات السائدة حول الأمان النووي وفي تأثيرات القرارات والإجراءات التي يمكن أن تمس الأمان النووي.**
— **من الضروري أن يكون هناك نهج نظامي ينظر في التفاعلات بين العوامل البشرية والتنظيمية والتقنية. ومن الضروري اتباع هذا النهج طوال دورة عمر المنشآت النووية.**

التأهب والتصدّي للطوارئ

التصدي الأولي في اليابان للحادث

كانت هناك في وقت وقوع الحادث ترتيبات منفصلة قائمة للتصدي للطوارئ النووية والكوارث الطبيعية على المستويين الوطني والمحلي ولم تكن هناك أي ترتيبات منسَّقة للتصدي لطارئ نووي وكارثة طبيعية يقعان بالتزامن.

وكانت ترتيبات التصدي للطوارئ النووية تتوخى إرسال إخطار من المحطة إلى الحكومات المحلية والوطنية في أعقاب اكتشاف ظروف مناوئة ذات صلة في محطة للقوى النووية (مثل فقدان جميع إمدادات التيار الكهربائي المتردد لأكثر من خمس دقائق أو فقدان جميع قدرات تبريد المولِّد). وكان من المتوقع أن تقوم الحكومة الوطنية بعد ذلك بتقييم الحالة وتحديد ما إذا كان ينبغي تصنيفها بأنها 'طارئ نووي'[٦]. فإذا صُنِّفت الحالة بأنها طارئ نووي، يصدر إعلان بهذا المعنى على المستوى الوطني، وتُتخذ القرارات بشأن الإجراءات الوقائية الضرورية على أساس توقعات الجرعات.

وبناء على تقرير من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، أعلن رئيس الوزراء مساء يوم ١١ آذار/مارس عن وقوع طارئ نووي، وأصدر أوامر باتخاذ إجراءات لوقاية الجمهور. وتولى قيادة التصدي على المستوى الوطني رئيس الوزراء وكبار المسؤولين في مكتب رئيس الوزراء في طوكيو.

وبات التصدي داخل الموقع بالغ الصعوبة بسبب تداعيات الزلزال والتسونامي وازدياد مستويات الإشعاعات. وبسبب فقدان التيار الكهربائي المتردد والمستمر، ووجود كمّ هائل من الركام عرقل اتخاذ إجراءات للتصدي داخل الموقع، والهزات اللاحقة، والإنذارات بحدوث المزيد من موجات التسونامي، وازدياد مستويات الإشعاعات، تعذَّر اتخاذ الكثير من الإجراءات التخفيفية في الوقت المناسب. وشاركت الحكومة الوطنية في اتخاذ القرارات المتعلقة بالإجراءات التخفيفية التي تتخذ في الموقع.

---

[٦] قانون التدابير الخاصة المتعلقة بالتأهب للطوارئ النووية رقم ١٥٦ لسنة ١٩٩٩ بصيغته المعدلة أخيراً بالقانون ١١٨ لسنة ٢٠٠٦، المشار إليه فيما يلي باسم 'قانون الطوارئ النووية'.

وكان من الصعب تنشيط مركز الطوارئ الواقع خارج الموقع والكائن على بعد ٥ كم من محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية، بسبب الأضرار الواسعة النطاق التي لحقت بالبنية الأساسية من جراء الزلزال والتسونامي. وفي غضون بضعة أيام، بات من الضروري إخلاء مركز الطوارئ الكائن خارج الموقع، بسبب الظروف الإشعاعية المناوئة.

- **يلزم عند التأهب للتصدي لطارئ نووي محتمل النظر في حالات الطوارئ التي يمكن أن تُلحق أضراراً شديدة بالوقود النووي الموجود في قلب المفاعل أو الوقود المستهلك الموجود في الموقع، بما في ذلك حالات الطوارئ التي تشمل عدة وحدات في محطة متعددة الوحدات والتي يمكن أن تقع في نفس الوقت الذي تقع فيه كارثة طبيعية.**
- **ينبغي أن يشمل نظام إدارة الطوارئ الخاص بالتصدي لطارئ نووي أدوراً ومسؤوليات للمنظمة المشغِّلة وللسلطات المحلية والوطنية محدَّدة بوضوح. ويلزم اختبار هذا النظام، بما يشمل التفاعلات بين المنظمة المشغلة والسلطات، بانتظام في تمارين.**

وقاية عمال الطوارئ

في وقت وقوع الحادث، كانت التشريعات والإرشادات الوطنية في اليابان تتناول التدابير الواجب اتخاذها لوقاية عمال الطوارئ، ولكن بعبارات عامة فقط وليس بالتفصيل الكافي.

وتطلَّب دعم التصدي لحالة الطوارئ عددًا كبيرًا من عمال الطوارئ من مختلف المهن. وأتى عمال الطوارئ من شتى المنظمات وشتى الدوائر العمومية. بيد أنه لم تكن هناك تدابير قائمة لدمج عمال الطوارئ الذين لم يتم قبل وقوع الحادث تخصيصهم لعمليات التصدي.

وأثرت الظروف البالغة الصعوبة التي سادت في الموقع تأثيراً كبيراً على تنفيذ الترتيبات الرامية إلى ضمان وقاية العمال من التعرض للإشعاعات. ومن أجل الحفاظ على مستوى مقبول من الوقاية لعمال الطوارئ الموجودين في الموقع، تم تنفيذ مجموعة من التدابير الارتجالية. فمن أجل إتاحة مواصلة الإجراءات التخفيفية الضرورية، رُفع مؤقتاً مستوى حد الجرعة لعمال الطوارئ الذين يضطلعون بمهام محدَّدة. وتأثرت أيضاً بشدة الإدارة الطبية لعمال الطوارئ، واقتضت الحاجة بذل جهود كبيرة لتلبية احتياجات عمال الطوارئ الموجودين في الموقع.

وتطوع أفراد من الجمهور، أشير إليهم باسم 'مقدمي المساعدة'، للمساعدة في التصدي لحالة الطوارئ خارج الموقع. وأصدرت السلطات الوطنية إرشادات بشأن نوع الأنشطة التي يمكن أن يضطلع بها مقدمو المساعدة وبشأن التدابير الواجب اتخاذها لوقايتهم.

- **يلزم تخصيص عمال الطوارئ وإسناد واجبات محددة بوضوح إليهم، بصرف النظر عن المنظمة التي يعملون لديها، وتزويدهم بالتدريب الكافي، وبالوقاية السليمة أثناء حالة الطوارئ. ويلزم أن تكون هناك ترتيبات قائمة يُدرج بها في التصدي لحالة الطوارئ عمال الطوارئ الذين لم يتم تخصيصهم قبل وقوع الطارئ ومقدمي المساعدة الذين يتطوعون للمساعدة في التصدي لحالة الطوارئ.**

وقاية الجمهور

في وقت وقوع الحادث، كانت الترتيبات الوطنية للطوارئ تتوخى استناد القرارات المتعلقة بالإجراءات الوقائية إلى تقديرات الجرعات المتوقعة التي يتلقاها الجمهور والتي تُحسب، حينما يلزم اتخاذ قرار، باستخدام نموذج لتوّقع الجرعات – هو نظام التنبؤ بمعلومات الجرعات في حالات الطوارئ البيئية (نظام سبيدي). ولم تكن الترتيبات تتوخى استناد القرارات المتعلقة بالإجراءات العاجلة الرامية إلى وقاية الجمهور إلى نشوء ظروف محدَّدة سلفاً تسود في المحطة. غير أن القرارات الأوَّلية بشأن الإجراءات الوقائية اتُّخذت، أثناء التصدي للحادث، استنادًا إلى ظروف المحطة. وتعذَّر توفير تقديرات لحد الإفلات كمدخل في نظام سبيدي، وذلك بسبب فقدان القوى الكهربائية داخل الموقع.

وشملت الترتيبات المتخذة قبل وقوع الحادث وضع معايير بشأن الإيواء والإجلاء وحجب الغدة الدرقية بتعاطي اليود تستند إلى الجرعة المتوقعة، ولكن لا تستند إلى مقادير قابلة للقياس. ولم تكن هناك معايير للترحيل.

وشملت إجراءات وقاية الجمهور التي نُفِّذت أثناء الحادث ما يلي: الإجلاء؛ والإيواء؛ وحجب الغدة الدرقية باليود (بتعاطي اليود المستقر)؛ وفرض قيود على استهلاك الأغذية ومياه الشرب؛ والترحيل؛ وتوفير المعلومات.

وبدأ إجلاء الناس من جوار محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية في مساء يوم ١١ آذار/مارس ٢٠١١، ووسِّعت منطقة الإجلاء تدريجياً من دائرة شعاعها كيلومتران من المحطة إلى دائرة شعاعها ٣ كم ثم ١٠ كم. وبحلول مساء يوم ١٢ آذار/مارس، كان قد تم توسيع هذا الشعاع إلى ٢٠ كم. وبالمثل، وسِّعت المنطقة التي طُلب من السكان الاحتماء فيها بالمباني من مسافة تتراوح بين ٣ و١٠ كم من المحطة بعد وقت قصير من وقوع الحادث إلى ما يتراوح بين ٢٠ و٣٠ كم بحلول يوم ١٥ آذار/مارس. وفي المنطقة الواقعة داخل دائرة يتراوح شعاعها بين ٢٠ و٣٠ كم من محطة القوى النووية، صدرت تعليمات إلى الجمهور بالاحتماء بالمباني حتى يوم ٢٥ آذار/مارس، عندما أوصت الحكومة الوطنية بالإجلاء الطوعي. ولم ينفذ تعاطي اليود المستقر لحجب الغدة الدرقية بتعاطي اليود تنفيذًا موحدًا، وذلك أساساً بسبب عدم وضع ترتيبات مفصَّلة.

وكانت هناك صعوبات في الإجلاء، بسبب الأضرار التي نجمت عن الزلزال والتسونامي وما ترتب على تلك الأضرار من مشاكل في الاتصالات والنقل. وصودفت أيضاً صعوبات كبيرة عند إجلاء المرضى من المستشفيات ودور الرعاية الواقعة داخل منطقة الإجلاء المحدَّدة بعشرين كيلومتراً.

وفي ٢٢ نيسان/أبريل، تقرَّر أن تكون منطقة الإجلاء القائمة المحدَّدة بعشرين كيلومتراً 'منطقة محظورة'، مع مراقبة العودة إليها. وأنشئت أيضاً 'منطقة إجلاء مقصود' خارج 'المنطقة المحظورة' في الأماكن التي يمكن أن تزيد فيها الجرعات على المعايير المحدَّدة للترحيل.

وحالما اكتشفت نويدات مشعة في البيئة، وُضعت ترتيبات بشأن الإجراءات الوقائية في المجال الزراعي، وفرضت قيود على استهلاك الأغذية وتوزيعها واستهلاك مياه الشرب. وبالإضافة إلى ذلك، وُضع نظام لاعتماد المنتجات الغذائية والمنتجات الأخرى الموجَّهة للتصدير.

واستُخدمت عدة قنوات لتزويد الجمهور بالمعلومات وللرد على شواغل الناس أثناء حالة الطوارئ، شملت التليفزيون والإذاعة والإنترنت والخطوط الهاتفية الساخنة. وتبيَّن من التعقيبات الواردة من الجمهور عبر الخطوط الهاتفية الساخنة وخدمات الإرشاد وجود حاجة لتوفير معلومات ومواد دعم يسهل فهمها.

— **يلزم أن تكون هناك ترتيبات قائمة تتيح اتخاذ القرارات بشأن تنفيذ إجراءات عاجلة محدَّدة سلفاً لوقاية الجمهور، على أساس نشوء ظروف محددة سلفاً تسود في المحطة.**
— **يلزم أن تكون هناك ترتيبات قائمة للتمكين من توسيع الإجراءات الوقائية العاجلة أو تعديلها استجابة لتطورات الأوضاع في المحطة أو لنتائج الرصد. ويلزم أيضاً أن تكون هناك ترتيبات قائمة للتمكين من الشروع في الإجراءات الوقائية المبكرة على أساس نتائج الرصد.**
— **يلزم أن تكون هناك ترتيبات قائمة لضمان أن يكون نفع الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى في حالات الطوارئ النووية أكبر من ضررها. ويلزم أن يكن هناك نهج شامل قائم بشأن اتخاذ القرارات، لضمان تحقيق هذا التوازن.**
— **يلزم أن تكون هناك ترتيبات قائمة لمساعدة صناع القرار والجمهور وغيرهم (مثل الموظفين الطبيين) على فهم الأخطار الصحية الإشعاعية في حالات الطوارئ النووية، لكي يتخذوا قرارات مستنيرة بشأن الإجراءات الوقائية. ويلزم أيضاً وضع ترتيبات لمعالجة شواغل الجمهور محلياً ووطنياً ودولياً.**

الانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي و تحليل التصدي

لم توضع سياسات ومبادئ توجيهية ومعايير وترتيبات محدَّدة للانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي إلا بعد وقوع حادث فوكوشيما داييتشي. ولدى وضع تلك الترتيبات طبقت السلطات اليابانية أحدث توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات.

وأُجريت تحليلات للحادث وللتصدي للطوارئ وعُرضت في شكل تقارير، بما في ذلك تلك الصادرة من حكومة اليابان، والمنظمة المشغِّلة (شركة تيبكو)، ولجنتي تحقيق أنشأتهما الحكومة والبرلمان، على التوالي.

وبعد وقوع الحادث، نُقحت في كثير من الحالات الترتيبات الوطنية للتأهب والتصدي للطوارئ في اليابان من أجل مراعاة نتائج تلك التحليلات ومراعاة معايير الأمان ذات الصلة الصادرة عن الوكالة في مجال التأهب والتصدي للطوارئ.

— **يلزم وضع ترتيبات، في مرحلة التأهب، من أجل إنهاء الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى ومن أجل الانتقال إلى مرحلة التعافي.**
— **تتعزز ترتيبات الطوارئ بإجراء تحليل في الوقت المناسب لحالة الطوارئ وللتصدي لها، واستخلاص الدروس المستفادة منها، وتحديد التحسينات الممكنة.**

التصدي ضمن الإطار الدولي للتأهب والتصدي للطوارئ

كان هناك في وقت وقوع الحادث إطار دولي قائم واسع النطاق للتأهب والتصدي للطوارئ، مؤلف من الصكوك القانونية الدولية، ومعايير الأمان الصادرة عن الوكالة، والترتيبات التشغيلية[٧].

[٧] الصكان القانونيان الدوليان الرئيسيان هما اتفاقية التبليغ المبكر عن وقوع حادث نووي واتفاقية تقديم المساعدة في حالة وقوع حادث نووي أو طارئ إشعاعي. وكانت معايير الأمان الدولية في مجال التأهب والتصدي للطوارئ وقت وقوع الحادث هي العددان GS-R-2 و GS-G-2.1 من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة. كما تضمّن العدد ١١٥ من سلسلة الأمان عناصر متصلة بمجال التأهب والتصدي للطوارئ. وكانت الترتيبات التشغيلية الدولية مؤلفة من دليل العمليات التقنية المتعلقة بالتبليغ عن حالات الطوارئ وتقديم المساعدة، وشبكة التصدِّي والمساعدة التابعة للوكالة الدولية للطاقة الذرية، والخطة المشتركة للمنظمات الدولية من أجل التصدي للطوارئ الإشعاعية.

وكانت الوكالة في وقت وقوع الحادث تضطلع بأربعة أدوار في التصدي للطوارئ النووية أو الإشعاعية، وهي: (١) الإخطار بالمعلومات الرسمية وتبادلها من خلال جهات اتصال محددة رسمياً؛ (٢) توفير معلومات مقدمة في الوقت المناسب وواضحة ومفهومة؛ (٣) تقديم المساعدة الدولية وتيسيرها حسب الطلب؛ (٤) تنسيق التصدي فيما بين الوكالات.

وشاركت دول كثيرة وعدد من المنظمات الدولية في التصدي الدولي للحادث.

وأقامت الوكالة تواصلاً مع جهة الاتصال الرسمية في اليابان، وأطلعت الجهات الأخرى على المعلومات المتعلقة بحالة الطوارئ أثناء تطورها، وأبقت الدول والمنظمات الدولية ذات الصلة والجمهور على علم بالتطورات. وكان التواصل مع جهة الاتصال الرسمية في اليابان خلال المرحلة المبكرة من التصدي لحالة الطوارئ صعبًا. وأدت زيارة المدير العام للوكالة إلى اليابان وإيفاد مسؤولي اتصال لاحقاً إلى طوكيو إلى تحسّن التواصل بين الوكالة وجهة الاتصال. وأوفدت الوكالة أيضاً بعثات خبراء إلى اليابان ونسقت التصدي المشترك فيما بين الوكالات.

واتخذت شتى الدول[٨] إجراءات وقائية مختلفة لمواطنيها الموجودين في اليابان، أو أوصت باتخاذها، من أجل التصدي للحادث. ولم تُشرح هذه الاختلافات بصفة عامة شرحًا جيدًا للجمهور، وسببت التباساً وقلقاً من حين إلى آخر.

وقامت المنظمات ذات الصلة المشارِكة في اللجنة المشتركة بين الوكالات المعنية بحالات الطوارئ الإشعاعية والنووية بتبادل المعلومات بانتظام. وصدرت أيضاً نشرات صحفية مشتركة.

- **يلزم تعزيز تنفيذ الترتيبات الدولية الخاصة بالإخطار وتقديم المساعدة.**
- **هنالك حاجة إلى تحسين التشاور وتبادل المعلومات بين الدول بشأن الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى.**

العواقب الإشعاعية

النشاط الإشعاعي في البيئة

أسفر الحادث عن انبعاث نويدات مشعة في البيئة. وأُجريت تقييمات للانبعاثات من طرف عدة منظمات باستخدام نماذج مختلفة. ودفعت الرياح السائدة معظم الانبعاثات الجوية شرقًا فترسّبت وتشتتت داخل شمال المحيط الهادئ. وكان من الصعب تذليل جوانب عدم التيقن في تقديرات كمية المواد المشعة المنبعثة وتكوينها، لأسباب شملت عدم وجود بيانات رصدية عن ترسب الانبعاثات الجوية في المحيط.

وأدى تغير اتجاه الرياح إلى ترسُّب جزء صغير نسبيًا من الانبعاثات الجوية في اليابسة، وذلك أساسًا في اتجاه شمالي غربي من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وتم رصد وجود ونشاط النويدات المشعة المترسبة في البيئة الأرضية وتحديد خصائصها. والنشاط المقيس للنويدات المشعة ينخفض مع مرور الزمن، بسبب الاضمحلال الفيزيائي وعمليات الانتقال البيئي وأنشطة التنظيف.

[٨] تقع المسؤولية الرئيسية عن التأهب والتصدي لأي طارئ نووي أو إشعاعي على عاتق الدول، وكذلك المسؤولية الرئيسية عن حماية حياة الإنسان وصحته والممتلكات والبيئة.

وبالإضافة إلى النويدات المشعة التي دخلت في المحيط من الترسب الجوي، كانت هناك انبعاثات وتصريفات من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية إلى البحر مباشرة في الموقع. ومن الصعب تقييم الحركة الدقيقة للنويدات المشعة في المحيط بواسطة القياسات وحدها، ولكن استُخدم عدد من نماذج النقل في المحيطات لتقدير تشتت النويدات المشعة في المحيط.

وقد انبعثت نويدات مشعة مثل اليود-١٣١ والسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧ ووُجدت في مياه الشرب والأغذية وفي بعض المواد غير المأكولة. وتصديًا للحادث، وضعت السلطات اليابانية قيودًا تمنع استهلاك هذه المنتجات.

— **في حال وقوع انبعاث عرضي لمواد مشعة في البيئة، تدعو الحاجة إلى إجراء تقدير دون تأخير لكمية المواد المشعة المنبعثة في البيئة وتحديد خصائصها. وبالنسبة للانبعاثات الكبيرة، يلزم برنامج شامل ومنسق للرصد البيئي الطويل الأمد لتحديد طبيعة ومدى الأثر الإشعاعي على البيئة على المستوى المحلي والإقليمي والعالمي.**

وقاية الناس من التعرض للإشعاعات

بعد وقوع الحادث، طبقت السلطات اليابانية المستويات المرجعية المتحفظة للجرعات، المدرجة في توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات[٩]. واتضح أن تطبيق بعض التدابير والإجراءات الوقائية صعب على السلطات المنفِّذة وصعب جدًا على المتضررين.

وكانت هناك بعض الفوارق بين المعايير والإرشادات الوطنية والدولية بشأن المراقبة الطويلة الأجل لمياه الشرب والأغذية والمنتجات الاستهلاكية غير المأكولة بعد وقوع الحادث، عقب انقضاء مرحلة الطوارئ.

— **يلزم أن تضع الهيئات الدولية ذات الصلة شروحًا لمبادئ ومعايير الوقاية من الإشعاعات تكون مفهومة لغير المتخصصين، بغية جعل تطبيقها أوضح لصناع القرار وللجمهور. وبما أن بعض التدابير الوقائية الطويلة الأمد أحدثت إخلالاً للمتضررين فتلزم استراتيجية اتصال أفضل لإيصال مبررات هذه التدابير والإجراءات إلى جميع أصحاب المصلحة، بما يشمل الجمهور.**
— **أدت القرارات المتحفظة المتعلقة بالنشاط النوعي وتركيزات النشاط في المنتجات الاستهلاكية ونشاط الترسيب إلى فرض قيود طويلة الأمد وإلى صعوبات مرتبطة بذلك. وفي حالة التعرض الطويل الأمد، يكون الاتساق فيما بين المعايير الدولية، وبين المعايير الدولية والمعايير الوطنية، مفيدا، لا سيما المعايير المرتبطة بمياه الشرب والأغذية والمنتجات الاستهلاكية غير المأكولة ونشاط الترسيب على الأرض.**

---

[٩] تصدر التوصيات الدولية بشأن الوقاية من الإشعاعات من اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات. وتؤخذ هذه التوصيات بعين الاعتبار لدى وضع معايير الأمان الدولية، بما فيها معايير الوقاية من الإشعاعات (معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة ولأمان المصادر الإشعاعية (معايير الأمان الأساسية))، التي وضعتها وأقرتها عدة منظمات دولية وصدرت تحت إشراف الوكالة. وتُستخدم معايير الأمان الأساسية في جميع أنحاء العالم في وضع لوائح وطنية لوقاية الناس والبيئة من الآثار الضارة المحتملة للتعرض للإشعاع المؤين. ووفرت توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات لعام ٢٠٠٧ إطارًا منقحًا للوقاية من الإشعاعات. وشملت هذه التوصيات استحداث مستويات مرجعية لاستراتيجيات الوقاية. وفي وقت وقوع الحادث، كان يجري تنقيح معايير الأمان الأساسية وذلك، في جملة أمور، لمراعاة هذه التوصيات.

التعرّض للإشعاعات

على المدى القصير، كان أهم العوامل المساهمة في تعرض الجمهور هما العاملان التاليان: (١) التعرض الخارجي الناتج من النويدات المشعة الموجودة في الغيمة والمترسبة على الأرض؛ و(٢) التعرض الداخلي الذي يصيب الغدة الدرقية بسبب الأخذ الداخلي لليود-١٣١، والتعرض الداخلي الذي يصيب الأعضاء والأنسجة الأخرى والراجع أساسًا إلى الأخذ الداخلي للسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧. وعلى المدى الطويل، سيظل أهم العوامل المساهمة في تعرض الجمهور هو الإشعاع الخارجي الناتج من السيزيوم-١٣٧ المترسب.

وقد استُخدم في التقييمات المبكرة للجرعات الإشعاعية الرصد البيئي ونماذج تقدير الجرعات، وأدى ذلك إلى بعض حالات المغالاة في التقدير. وفيما يتعلق بالتقديرات الواردة في هذا التقرير، أُدرجت أيضًا بيانات الرصد الفردي التي وفرتها السلطات المحلية، بغية توفير معلومات أدق عن الجرعات الفردية الفعلية المتلقاة وعن توزيعها. وتشير هذه التقديرات إلى أن الجرعات الفعالة التي أصابت أفراد الجمهور كانت منخفضة، ومشابهة بصفة عامة لنطاق الجرعات الفعالة التي يتم تلقيها بسبب المستويات العالمية لإشعاعات الخلفية الطبيعية.

وفي أعقاب وقوع أي حادث نووي ينطوي على إطلاق اليود-١٣١ وأخذه الداخلي من جانب الأطفال، يكون تمثّله والجرعات اللاحقة التي تصيب غددهم الدرقية مصدر قلق خاص. وعقب وقوع حادث محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، يبدو أن الجرعات المكافئة المسجلة التي تلقتها الغدد الدرقية للأطفال كانت منخفضة لأن أخذهم الداخلي لليود-١٣١ كان محدودًا، ويرجع ذلك جزئيا إلى القيود التي فُرضت على مياه الشرب والأغذية، بما فيها الخضروات الورقية والحليب الطازج. غير أن هناك جوانب عدم تيقن بشأن الأخذ الداخلي لليود عقب الحادث مباشرة، وذلك بسبب شح بيانات الرصد الإشعاعي الفردي الموثوقة لهذه الفترة.

وبحلول كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١، كان حوالي ٠٠٠ ٢٣ من عمال الطوارئ قد شاركوا في عمليات الطوارئ. وكانت الجرعات الإشعاعية الفعالة التي أصابت معظمهم أقل من حدود الجرعة المهنية في اليابان. ومن هذا العدد، تجاوز ١٧٤ المعيار الخاص بعمال الطوارئ، وتجاوز ٦ من عمال الطوارئ المعيار المنقَّح مؤقتًا للجرعة الفعالة في حالات الطوارئ الذي وضعته السلطة اليابانية المختصة. وحدثت بعض أوجه القصور في تنفيذ متطلبات الوقاية الإشعاعية المهنية، بما في ذلك أثناء الرصد والتسجيل المبكرين للجرعات الإشعاعية التي تلقاها عمال الطوارئ، وفي توافر واستخدام بعض المعدات الواقية والتدريب المرتبط بها.

- **يوفر الرصد الفردي للإشعاعات لمجموعات تمثيلية من أفراد الجمهور معلومات قيمة من أجل إعداد تقديرات موثوقة للجرعات الإشعاعية، ويلزم استخدامها جنبًا إلى جنب مع القياسات البيئية والنماذج المناسبة الخاصة بتقدير الجرعات بغية تقدير الجرعة التي تصيب أفراد الجمهور.**
- **في حين لم تكن منتجات الألبان هي المسارات الرئيسية لابتلاع اليود المشع في اليابان، فمن الواضح أن أهم طريقة للحد من الجرعات التي تصيب الغدة الدرقية، ولا سيما لدى الأطفال، هي الحد من استهلاك الحليب الطازج الذي تنتجه أبقار المراعي.**
- **يلزم نظام متين لرصد وتسجيل الجرعات الإشعاعية المهنية، المتلقاة عبر جميع المسارات ذات الصلة، ولا سيما الجرعات الناتجة من التعرض الداخلي التي يمكن أن تصيب العمال خلال الاضطلاع بأنشطة التصدي للحوادث العنيفة. ومن الضروري أن تكون معدات الوقاية الشخصية المناسبة والكافية متوفرة من أجل الحد من تعرض العمال خلال أنشطة التصدي للطوارئ، وأن يتم تدريب العمال تدريبًا كافيًا على استخدامها.**

الآثار الصحية

لم تلاحظ بين العاملين أو أفراد الجمهور آثار صحية مبكرة مستحثة إشعاعيًا يمكن أن تعزى إلى الحادث.

ويمكن أن تبلغ فترة كمون الآثار الصحية الإشعاعية المتأخرة عقودًا من الزمن، ومن ثم فإن إمكانية حدوث هذه الآثار بين السكان المتعرضين لا يمكن استبعادها عن طريق عمليات الرصد التي تجرى بعد التعرض بسنوات قليلة. غير أنه بالنظر إلى المستويات المنخفضة للجرعات المبلغ عنها بين أفراد الجمهور فإن استنتاجات هذا التقرير تتفق مع الاستنتاجات التي قدمتها لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري إلى الجمعية العامة للأمم المتحدة[١٠]. وقد خلصت اللجنة العلمية المذكورة إلى أنه "لا يتوقع حدوث زيادة يمكن تمييزها في الآثار الصحية ذات الصلة بالإشعاعات على أفراد الجمهور أو ذريتهم" (وهو ما ورد في سياق الآثار الصحية المتصلة بموضوع "مستويات وآثار التعرض للإشعاعات الناجمة عن الحادث النووي الذي أعقب الزلزال الكبير والتسونامي اللذين ضربا شرق اليابان في عام ٢٠١١")[١١]. وخلصت اللجنة العلمية إلى أنه لدى الفئة من العمال التي تلقت جرعات فعالة قدرها ١٠٠ ملّي سيفرت أو أكثر "من المتوقع ارتفاع حالات الإصابة بالسرطان في صفوف هذه المجموعة في المستقبل. ومع ذلك، فليس من المتوقع حدوث زيادة يمكن تمييزها في الإصابة بالسرطان ضمن هذه المجموعة، بسبب صعوبة تأكيد هذا الحدث الصغير بالنظر إلى التقلبات الإحصائية الطبيعية في حدوث السرطان"[١٢].

وقد نُفذت الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما من أجل رصد الحالة الصحية للسكان المتضررين في محافظة فوكوشيما. وتهدف هذه الدراسة الاستقصائية إلى الكشف عن الأمراض وعلاجها في وقت مبكر، فضلًا عن الوقاية من الأمراض المتصلة بنمط الحياة. وفي وقت كتابة هذا التقرير، كان يجري فحص مكثف للغدد الدرقية للأطفال، كجزء من الدراسة الاستقصائية. وتُستخدم معدات شديدة الحساسية، كشفت عن تشوهات عديمة الأعراض للغدة الدرقية بين عدد كبير من الأطفال الذين شملتهم الدراسة الاستقصائية (لم تكن الوسائل السريرية ستكشف عنها). ولا يرجح أن تكون التشوهات التي تم تحديدها في الدراسة الاستقصائية مرتبطة بالتعرض للإشعاعات الناتجة من الحادث، وهي على الأرجح تدل على الحدوث الطبيعي لتشوهات الغدة الدرقية لدى الأطفال في هذه السن. وحدوث الإصابة بسرطان الغدة الدرقية لدى الأطفال هو أرجح أثر صحي ينشأ بعد وقوع حادث ينطوي على انبعاثات كبيرة من اليود المشع. وبما أن الجرعات المبلغ بأن الغدة الدرقية تلقتها والتي يمكن عزوها إلى الحادث كانت منخفضة عمومًا فمن غير المرجح حدوث زيادة في سرطان الغدة الدرقية لدى الأطفال يمكن عزوها إلى الحادث. غير أنه تبقت أوجه عدم تيقن تتعلق بالجرعات المكافئة التي تلقتها الغدة الدرقية لدى الأطفال بعد وقوع الحادث مباشرة.

ولم تلاحظ آثار إشعاعية سابقة للولادة، وليس من المتوقع أن تحدث، بالنظر إلى أن الجرعات المبلغ عنها أقل كثيرًا من العتبة التي قد تحدث عندها هذه الآثار. ولم يبلغ عن حالات إنهاء حمل غير مرغوب فيها يمكن عزوها إلى الحالة الإشعاعية. وفيما يتعلق باحتمال أن يؤدي تعرض الوالدين إلى آثار وراثية في ذريتهم، خلصت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري إلى أنه، بصفة عامة، "رغم ما أظهرته الدراسات التي أجريت

---

[١٠] الأمم المتحدة، تقرير لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، الوثيقة A/68/46 الأمم المتحدة، نيويورك (٢٠١٣).

[١١] نشرت منظمة الصحة العالمية أيضًا في عام ٢٠١٣ تقييمًا للمخاطر الصحية على أساس الجرعات التقديرية الأولية. والنتائج معروضة في هذا التقرير.

[١٢] انظر الحاشية ١٠.

على الحيوانات من شواهد، فإنَّ من المتعذر في الوقت الراهن أن تعزى الزيادة في الآثار الوراثية في المجموعات السكانية البشرية إلى التعرض للإشعاعات"[١٣].

وتم الإبلاغ عن بعض الحالات النفسية بين السكان المتضررين من الحادث النووي. وبما أن عددًا من هؤلاء الناس كانوا قد عانوا من الآثار المجتمعة لزلزال كبير وتسونامي مدمر فضلًا عن الحادث، فمن الصعب تقييم مدى إمكانية أن تعزى هذه الآثار إلى الحادث النووي وحده. وتشير الدراسة الاستقصائية بشأن الصحة العقلية وأنماط الحياة، التي أجريت في إطار الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما، إلى وجود مشاكل نفسية ذات صلة لدى بعض الفئات الهشة من السكان المتضررين، مثل حالات ازدياد القلق واضطراب التوتر التالي للصدمة. وقد قدَّرت اللجنة العلمية ما يلي: "أمَّا الأثر الصحي الأهم [الناتج من الحادث] فهو ذلك الذي لحق بالرفاه الذهني والاجتماعي من جرّاء الأثر الهائل للزلزال والتسونامي والحادث النووي والخوف والوصم المتعلقين بالخطر المتصوَّر الذي ينطوي عليه التعرُّض للإشعاعات المؤيِّنة"[١٤].

- **يلزم أن تُعرض مخاطر التعرض للإشعاعات وعزو الآثار الصحية للإشعاعات عرضًا واضحًا على أصحاب المصلحة، بحيث يكون واضحًا بما لا لبس فيه أن أي زيادات في حدوث الآثار الصحية لدى السكان لا يمكن أن تعزى إلى التعرض للإشعاعات، إذا كانت مستويات التعرض مماثلة للمتوسط العالمي لمستويات إشعاعات الخلفية الطبيعية.**
- **إجراء الدراسات الاستقصائية الصحية مهم ومفيد جدًا بعد وقوع حادث نووي، ولكن لا ينبغي أن تفسر على أنها دراسات وبائية. والمقصود من نتائج هذه الدراسات الاستقصائية الصحية هو توفير المعلومات من أجل دعم تقديم المساعدة الطبية للسكان المتضررين.**
- **تدعو الحاجة إلى إرشادات بشأن الوقاية من الإشعاعات، من أجل التصدي للعواقب النفسية لدى أفراد المجموعات السكانية المتضررة في أعقاب الحوادث الإشعاعية. وقد أوصى فريق مهام تابع للجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات "بالسعي إلى إيجاد استراتيجيات للتخفيف من الآثار النفسية الخطيرة الناجمة عن الحوادث الإشعاعية"[١٥].**
- **يلزم إبلاغ الأفراد الموجودين في المناطق المتضررة بالمعلومات الوقائعية عن آثار الإشعاعات، بطريقة مفهومة وفي التوقيت المناسب، من أجل تعزيز فهمهم للاستراتيجيات الوقائية والتخفيف من شواغلهم ودعم المبادرات الوقائية التي يتخذونها بأنفسهم.**

العواقب الإشعاعية على الكائنات الحية غير البشرية

لم يُبلغ عن أية ملاحظات لآثار مباشرة مستحثة إشعاعيًا في النباتات والحيوانات، على الرغم من إجراء دراسات رصدية محدودة في الفترة التي تلت وقوع الحادث مباشرة. وهناك محدوديات في المنهجيات المتوفرة لتقييم

---

[١٣] الأمم المتحدة، تقرير لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، الوثيقة A/67/46، الأمم المتحدة، نيويورك (٢٠١٢).

[14] UNITED NATIONS, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2013 Report, Vol. I, Scientific Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2014).

[15] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Report of ICRP Task Group 84 on Initial Lessons Learned from the Nuclear Power Plant Accident in Japan vis-à-vis the ICRP System of Radiological Protection ICRP, Ottawa (2012).

العواقب الإشعاعية ولكن، على أساس الخبرة السابقة ومستويات النويدات المشعة الموجودة في البيئة، ليس من المحتمل أن تكون هناك أي عواقب إشعاعية كبيرة على مجموعات الكائنات الحية أو النظم الإيكولوجية نتيجة للحادث.

— **يتعين أن ينصبَّ التركيز خلال أي مرحلة من مراحل الطوارئ على وقاية الناس. ولا يمكن السيطرة على الجرعات التي تصيب الكائنات الحية، ويمكن أن تكون هذه الجرعات هامة على أساس فردي. وينبغي تعزيز معرفة ما للتعرض للإشعاعات من آثار على الكائنات الحية غير البشرية، وذلك بتحسين منهجية التقييم وتحسين فهم الآثار المستحثة إشعاعيًا على مجموعات الكائنات الحية وعلى النظم الإيكولوجية. وعقب وقوع انبعاث كبير للنويدات المشعة إلى البيئة، يلزم اعتماد منظور متكامل بغية ضمان استدامة أعمال الزراعة والغابات ومصايد الأسماك والسياحة واستخدام الموارد الطبيعية.**

التعافي بعد الحادث

استصلاح المناطق المتضرِّرة من جرّاء الحادث خارج الموقع

يكمن الهدف الطويل الأجل المتوخَّى من عملية التعافي بعد الحادث[١٦] في إعادة إرساء أساس مقبول لقيام مجتمع يؤدِّي وظيفته على نحوٍ تام في المناطق المتضرِّرة. وينبغي إيلاء الاعتبار لاستصلاح[١٧] المناطق المتضرِّرة من الحادث وذلك من أجل خفض الجرعات الإشعاعية، بما يتسق مع المستويات المرجعية المعتمدة. ولدى الإعداد لعودة الذين تم إجلاؤهم، لا بدَّ من النظر بعين الاعتبار في عوامل مثل ترميم البنية الأساسية وحيوية المجتمع المحلي في الصمود ومزاولة النشاط الاقتصادي المستدام.

وقبل حادث فوكوشيما داييتشي، لم تكن توجد في اليابان سياسات واستراتيجيات قائمة بشأن الاستصلاح فيما بعد الحادث، وقد أصبح من الضروري إعدادها في الفترة التي تلت الحادث. وقد سنَّت حكومة اليابان السياسة العامة بشأن الاستصلاح في آب/أغسطس ٢٠١١[١٨]. و أسندت مسؤوليات إلى الحكومات الوطنية والمحلية، والجهة المشغِّلة، والجمهور، واستحدثت الترتيبات المؤسسية اللازمة لتنفيذ وتنسيق برنامج العمل.

ولقد وُضعت استراتيجية بشأن الاستصلاح وبدء تنفيذها. وتحدّد الاستراتيجية أنَّ المناطق ذات الأولوية للاستصلاح هي المناطق السكنية، بما فيها المباني والحدائق والمزارع والطرق والبنية الأساسية، مع التشديد على خفض جرعات التعرُّض للإشعاعات الخارجية.

وتمثِّل الجرعة الخارجية من النويدات المشعَّة المترسّبة على السطوح الأرضية وغيرها المسار الرئيسي للتعرُّض للإشعاعات. ولذلك تركّز استراتيجية الاستصلاح على أنشطة إزالة التلوث الرامية إلى خفض مستويات

[١٦] تشمل أنشطة التعافي بعد الحادث ما يلي: استصلاح المناطق المتضرِّرة من جرّاء الحادث؛ وتحقيق استقرار المرافق المتضررة خارج الموقع والاستعداد لإخراجها من الخدمة؛ والتصرف في المواد الملوَّثة والنفايات المشعة الناشئة عن هذه الأنشطة؛ وإنعاش المجتمع وإشراك الجهات المعنية.

[١٧] يُعرَّف الاستصلاح بأنه أي تدابير يمكن القيام بها لتقليص *التعرض للإشعاعات* الناجم عن *تلوث* موجود في مساحات من الأرض عن طريق إجراءات يتم تطبيقها على *التلوث* نفسه *(المصدر)* أو على *مسارات التعرُّض* الموصِّلة إلى البشر.

[١٨] قانون التدابير الخاصة بشأن التعامل مع تلوث البيئة بموادٍ مشعَّة مصرَّفة من جراء الحادث في محطة القوى النووية المقترِن بالهزة الأرضية في مقاطعة طوهوكو – المقابلة للمحيط الهادئ التي وقعت في ١١ آذار/مارس ٢٠١١، القانون رقم ١١٠ لسنة ٢٠١١.

السيزيوم المشع الموجودة في المناطق ذات الأولوية، ومن ثمَّ الحدِّ من احتمالات حدوث هذه التعرُّضات. ويستمرَ التحكُّم في الجرعات الداخلية بواسطة القيود المفروضة على الأغذية، وكذلك من خلال أنشطة الاستصلاح المعنية بالأراضي الزراعية.

وعقبَ الحادث، اعتمدت السلطات في اليابان 'مستوى مرجعياً' باعتباره مستوى جرعات مستهدفاً بلوغه بخصوص استراتيجية الاستصلاح الكلّية. وكان هذا المستوى متسقاً مع الحدِّ النهائي الأدنى من المدى المحدَّد في الإرشادات الدولية. ولكنَّ تطبيق مستوى مرجعي منخفض له تأثير في زيادة كمية المواد الملوثة الناتجة في سياق أنشطة الاستصلاح، ومن ثم زيادة التكاليف والمطالب بشأن الموارد وكان بالإمكان استخدام الخبرات المكتسبة في اليابان لإعداد إرشادات عملية بشأن تطبيق معايير الأمان الدولية في ظروف التعافي بعد الحادث.

وقد حُدِّدت فئتان من المناطق الملوَّثة استناداً إلى الجرعات السنوية الإضافية المقدَّرة في خريف عام ٢٠١١. وأسنِدت المسؤولية إلى الحكومة الوطنية عن وضع وتنفيذ خطط الاستصلاح في الفئة الأولى من المناطق ('منطقة إزالة التلوث الخاصة') – ضمن شعاع طوله ٢٠ كم من موقع فوكوشيما داييتشي، وفي المناطق التي كان متوقَّعاً فيها أن يتجاوز مقدار الجرعات السنوية الإضافية الناتجة عن التلوث على السطوح الأرضية ٢٠ ملِّي سيفرت في السنة الأولى بعد الحادث. وأُسندت إلى الدوائر البلدية المسؤولية عن تنفيذ أنشطة الاستصلاح في الفئة الأخرى من المناطق ('منطقة مسح التلوث المكثَّف')، التي كان متوقعاً أن يتجاوز فيها مقدار الجرعات السنوية الإضافية ١ ملِّي سيفرت، ولكنْ يظلّ دون ٢٠ ملِّي سيفرت. وُوضعت أهداف محدَّدة لخفض الجرعات، بما في ذلك هدف طويل الأجل لبلوغ جرعة سنوية إضافية مقدارها ١ ملِّي سيفرت أو أقل.

- **التخطيط قبل الحادث للتعافي بعد الحادث أمر ضروري جداً لتحسين عملية اتخاذ القرارات تحت الضغط في الحالة التي تطرأ بعد الحادث مباشرة. ولا بدَّ من أن يتم مسبّقاً إعداد استراتيجيات وتدابير على الصعيد الوطني بشأن الاستصلاح بعد الحادث لتكون جاهزة مسبقًا وذلك للتمكّن من تنفيذ برنامج فعَّال ومناسب للاستصلاح الشامل في حالة وقوع حادث نووي. وينبغي أن تشتمل هذه الاستراتيجيات والتدابير على إنشاء إطار قانوني ورقابي؛ واستراتيجيات استصلاح عامة ومعايير تُعنى بمستويات الجرعات الإشعاعية المتبقية والتلوث؛ وخطة لتحقيق الاستقرار في المرافق النووية المتضرِّرة وإخراجها من الخدمة؛ واستراتيجية عامة للتصرف في الكميات الكبيرة من المواد الملوَّثة والنفايات المشعة.**
- **ينبغي أن تضع استراتيجياتُ الاستصلاح في الاعتبار فعّالية التدابير الفردية وجدواها العملية، وكذلك مقدار المواد الملوّثة التي سوف تنتج في سياق عملية الاستصلاح.**
- **كجزء من استراتيجية الاستصلاح ينبغي تنفيذ اختبارات وضوابط رقابية صارمة على الأغذية، وذلك من أجل منع التعرُّض للجرعات الإشعاعية بالابتلاع أثناء الأكل أو التقليل منه إلى أدنى حدٍّ.**
- **ينبغي توفير المزيد من الإرشادات الدولية بشأن التطبيق العملي لمعايير الأمان بشأن الوقاية من الإشعاعات في حالات التعافي بعد الحوادث.**

تحقيق استقرار الظروف داخل الموقع والأعمال التحضيرية للإخراج من الخدمة

وُضعت بالاشتراك بين شركة تيبكو والوكالات المعنية التابعة لحكومة اليابان خطة استراتيجية شاملة رفيعة المستوى لتحقيق استقرار ظروف محطة القوى النووية المتضررة وإخراجها من الخدمة. وصدرت الخطة في المرة الأولى، في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١، وتم تنقيحها لاحقًا لكي تتبدَّى فيها الخبرةُ المكتسبة والفهمُ

المحسَّن لظروف محطة القوى النووية المتضرّرة، وكذلك جسامةُ التحدِّيات التي ستُواجه في المستقبل. وتعالج الخطة الاستراتيجية الطابع المعقد الذي تتسم بها الأعمال في الموقع، وتشمل: النهجَ المتَّبع في كفالة الأمان؛ والتدابيرَ الرامية إلى إخراج المحطة من الخدمة؛ والنُظمَ والبيئات التي تيسِّر تلك الأعمال؛ ومتطلَّبات البحث والتطوير.

وفي وقت كتابة هذا التقرير، أُعيد إنشاء الوظائف الخاصة بالأمان، ووُضعت البُنى والنظم والمكوِّنات اللازمة للحفاظ بشكل موثوق على استقرار الظروف. ولكن كانت هنالك حاجة مستمرّة لمراقبة ودرء دخول المياه الجوفية إلى مباني المفاعل المتضرّرة والملوَّثة. وكان الماء الملوَّث الناتج يُعالَج لإزالة النويدات المشعَّة منه بالقدر الممكن إزالته، وكان يُخزَّن في أكثر من ٨٠٠ صهريج. وثمة حاجة إلى حلول أكثر استدامة، مع مراعاة مختلف الخيارات، بما فيها إمكانية استئناف تصريف تلك المياه في البحر على نحو متحكَّم فيه. وسيستدعي اتخاذ قرار نهائيًا إشراك الجهات المعنية ومراعاة الظروف الاجتماعية والاقتصادية في عملية التشاور، وكذلك تنفيذ برنامج رصد شامل.

وقد أُعدَّت خطط لإدارة أعمال التصرُّف في حطام الوقود والوقود المستهلَك، واستُهلَّت إزالة الوقود من أحواض الوقود المستهلك[١٩]. واستُحدث أيضًا نموذج مفاهيمي للأنشطة المزمع القيام بها في المستقبل من أجل إزالة حطام الوقود، يأخذ في الحسبان العديدُ من الخطوات التمهيدية اللازمة، بما فيها تأكيد نَسق مكوّنات هذا الحطام وتركيبه. ولكنَّ ارتفاع مستويات الجرعة الإشعاعية في المفاعلات المتضرِّرة دلَّ على أنَّ هذا التأكيد لم يكن ممكناً في وقت كتابة هذا التقرير.

وقدَّرت السلطاتُ اليابانية أنَّ الإطار الزمني لاستكمال أعمال الإخراج من الخدمة من المرجَّح أن يتراوح بين ٣٠ و٤٠ سنة. وذكرت أن القرارات اللازم اتخاذها بشأن الظروف النهائية في المحطة والموقع كله سوف تكون موضوعَ تحليلات ومناقشات إضافية.

- **عقب وقوع حادثٍ ما، يُعدُّ وجود خطة استراتيجية بشأن الحفاظ على استقرار الظروف لأمدٍ طويل وبشأن إخراج المرافق المتضرّرة بفعل الحادث من الخدمة عاملًا أساسيًا جدًا للقيام بالتعافي في الموقع. وينبغي أن تكون الخطة مرِنة وقابلة للتكيُّف بيُسرٍ مع الظروف المتغيّرة وتبعاً للمعلومات الجديدة.**
- **تحتّم بالضرورة استعادة الوقود التالف وتحديد خصائص حطام الوقود وإزالته إيجاد حلول محدَّدة بخصوص الحادث، وقد يكون من الضروري استحداث طرائق وأدوات خاصة بذلك.**

التصرُّف في المواد الملوّثة والنفايات المشعَّة

يؤدي تحقيق استقرار ظروف محطة قوى نووية متضرّرة وإزالة التلوّث في الموقع وجهود الاستصلاح في المناطق المحيطة به إلى توليد كميات كبيرة من المواد الملوّثة والنفايات المشعّة. وفي الموقع، تولدت مقادير كبيرة من المواد الصلبة والسائلة الملوثة، وكذلك مواد مشعة، بعد مختلف أنشطة التعافي.[٢٠] والتصرّف في مواد

[١٩] استكملت إزالة الوقود من حوض الوقود المستهلك في الوحدة ٤ في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٤.

[٢٠] يتوقف الفرق بين المواد الملوثة والمواد المشعة على النويدات المشعة وتركيز النشاط الإشعاعي المصاحب لتلك المواد.

من هذا القبيل – بما تنطوي عليه من خواصّ فيزيائية وكيميائية وإشعاعية متباينة – عملية معقَّدة وتتطلب جهوداً ضخمة.

وفي أعقاب حادث فوكوشيما داييتشي، كانت هناك صعوبات في إنشاء مواضع لتخزين المقادير الكبيرة من المواد الملوّثة الناتجة عن أنشطة الاستصلاح خارج الموقع. وفي وقت كتابة هذا التقرير، أُنشئت عدَّة مئات من مرافق التخزين المؤقَّت في مناطق المجتمعات المحلية المحيطة وتواصلت الجهود المبذولة من أجل إنشاء مرفق تخزين تمهيدي.

— **ينبغي أن تتضمَّن الاستراتيجياتُ والتدابير الوطنية بشأن التعافي بعد الحادث وضعَ استراتيجية عامة بشأن التصرُّف في المواد الملوثة السائلة والصلبة والنفايات المشعّة، تكون مدعّمة بتقييمات أمان عامة بشأن التصريف والتخزين والتخلُّص.**

إنعاش المجتمعات المحلية ومشاركة الجهات المعنية

الحادثُ النووي، وكذلك تدابيرُ الوقاية من الإشعاعات المستحدَثة في حالتي الطوارئ والتعافي بعد الحادث كلتيهما، كان لهما عواقب وخيمة على حياة السكان المتضرِّرين منهما. فقد اشتملت تدابير الإجلاء وإعادة التوطين، والقيود المفروضة على الأغذية، على مشقّة عاناها الناس المتضرِّرين منها. غير أنَّ مشاريع إنعاش وإعادة الإعمار التي استُهلَّت في محافظة فوكوشيما قد أُعدَّت انطلاقاً من فهم للعواقب الاجتماعية والاقتصادية التي سبَّبها الحادث. وتعالج هذه المشاريع لقضايا عدَّة منها مثلاً إعادة إعمار البنية الأساسية، وإنعاش المجتمعات المحلية ودعمها والتعويض عليها.

والتواصل مع الجمهور بشأن أنشطة التعافي أمر أساسي جداً لبناء الثقة. ومن أجل التواصل بفعالية، من الضروري أن يفهم الخبراءُ المعلومات التي يحتاجها السكان المتضرِّرون، وأن يقدِّموا معلومات يمكن فهمها عبر الوسائل ذات الصلة. وقد تحسَّنت أساليب التواصل في أعقاب الحادث، وأصبح السكان المتضرِّرون يشاركون أكثر فأكثر في عملية اتخاذ القرارات وفي تدابير الاستصلاح.

— **من الضروري إدراك العواقب الاقتصادية الاجتماعية التي تترتّب على أيِّ حادث نووي وعلى الإجراءات الوقائية اللاحقة، وإعداد مشاريع بشأن الإنعاش وإعادة الإعمار تُعنى بقضايا مثل إعادة إعمار البنية الأساسية وإنعاش المجتمعات المحلية والتعويض عليها.**

— **إنَّ الدعم المقدَّم من قِبل الجهات المعنية أساسي فيما يخصّ جميع جوانب التعافي بعد الحادث. وعلى وجه الخصوص، تُعدُّ مشاركة السكان المتضرِّرين في عمليات اتخاذ القرارات ضرورية لتحقيق النجاح والمقبولية والفعالية في أنشطة التعافي، ولإنعاش المجتمعات المحلية. ويتطلّب أي برنامج فعَّال للتعافي ثقة السكان المتضرِّرين واشتراكهم. فالثقة في تنفيذ تدابير التعافي لا بدَّ من بنائها من خلال عمليات الحوار، وتقديم المعلومات المتسقة والواضحة والآنيَّة، وتوفير الدعم للسكان المتضرِّرين.**

حادث فوكوشيما دايتشي
تقرير موجز

١- مقدِّمة

وقع زلزال شرق اليابان الكبير في ١١ آذار/مارس ٢٠١١. ونجم هذا الزلزال عن انطلاق فجائي للطاقة في نقطة الالتقاء التي تندفع فيها الصفيحة التكتونية للمحيط الهادئ تحت الصفيحة التكتونية لأمريكا الشمالية. وتصدَّع قطاع من القشرة الأرضية يقدَّر بنحو ٥٠٠ كم طولاً و٢٠٠ كم عرضاً، مما تسبب في وقوع زلزال عنيف بقوة ٩ درجات وتسونامي اجتاح مساحة كبيرة من ساحل اليابان، بما في ذلك الساحل الشمالي الشرقي الذي بلغ فيه ارتفاع عدة موجات أكثر من عشرة أمتار. وتسبب الزلزال والتسونامي في خسائر فادحة في الأرواح ودمار واسع في اليابان. وكان أكثر من ١٥ ٠٠٠ شخص قد لقوا حتفهم وأصيب ما يزيد على ٠٠٠ ٦ شخص بجروح، وفي وقت كتابة هذا التقرير[٢١]، ذكرت التقارير أنَّ قرابة ٢ ٥٠٠ شخص ما زالوا في عداد المفقودين [1]. ولحقت بالمباني والبنية الأساسية أضرار هائلة، لا سيما على طول الساحل الشمالي الشرقي لليابان.

وفي محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية التي تتولى تشغيلها شركة طوكيو للطاقة الكهربائية، ألحق الزلزال أضرارًا بخطوط إمدادات القوى الكهربائية في الموقع وألحقت موجات تسونامي دماراً هائلاً بالبنية الأساسية التشغيلية والبنية الأساسية للأمان في الموقع. وأدى الأثر المشترك إلى انقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع وداخله. وأسفر ذلك عن توقف وظيفة التبريد في وحدات المفاعل العاملة الثلاث[٢٢] وكذلك في أحواض الوقود المستهلك. وتأثرت أيضاً محطات القوى النووية الأربع الأخرى[٢٣] على طول الساحل بدرجات متفاوتة جراء الزلزال والتسونامي. ولكنَّ جميع وحدات المفاعل العاملة في هذه المحطات أُغلِقت بصورة مأمونة.

وبالرغم من الجهود التي بذلتها الجهات المشغِّلة في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية للحفاظ على التحكم، ارتفعت درجة حرارة قلب المفاعل في الوحدات من ١ إلى ٣ ارتفاعاً مفرطاً، وانصهر الوقود النووي، وتصدَّعت أوعية الاحتواء الثلاثة. وانطلق الهيدروجين من أوعية ضغط المفاعلات، وأدّى ذلك إلى وقوع انفجارات داخل مباني المفاعلات في الوحدات ١ و٣ و٤ مما تسبب في إتلاف الهياكل والمعدات وإصابة العاملين. وانطلقت نويدات مشعة من المحطة إلى الغلاف الجوي وترسَّبت على الأرض وفي مياه المحيط. ووقعت أيضاً انطلاقات مباشرة إلى البحر.

---

[٢١] آذار/مارس ٢٠١٥. أتيحت في بعض الحالات معلومات حتى حزيران/يونيه ٢٠١٥ وأدرجت تلك المعلومات، حيثما أمكن.

[٢٢] كانت الوحدات ١ و٢ و٣، من بين الوحدات الست التي تتألف منها محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية، تعمل وقت وقوع الحادث؛ وأما الوحدات ٤ و٥ و٦ فقد كانت في حالة إغلاق وفق خطة موضوعة.

[٢٣] محطات هيغاشيدوري، وأوناغاوا، وفوكوشيما دايني، وطوكاي دايني للقوى النووية.

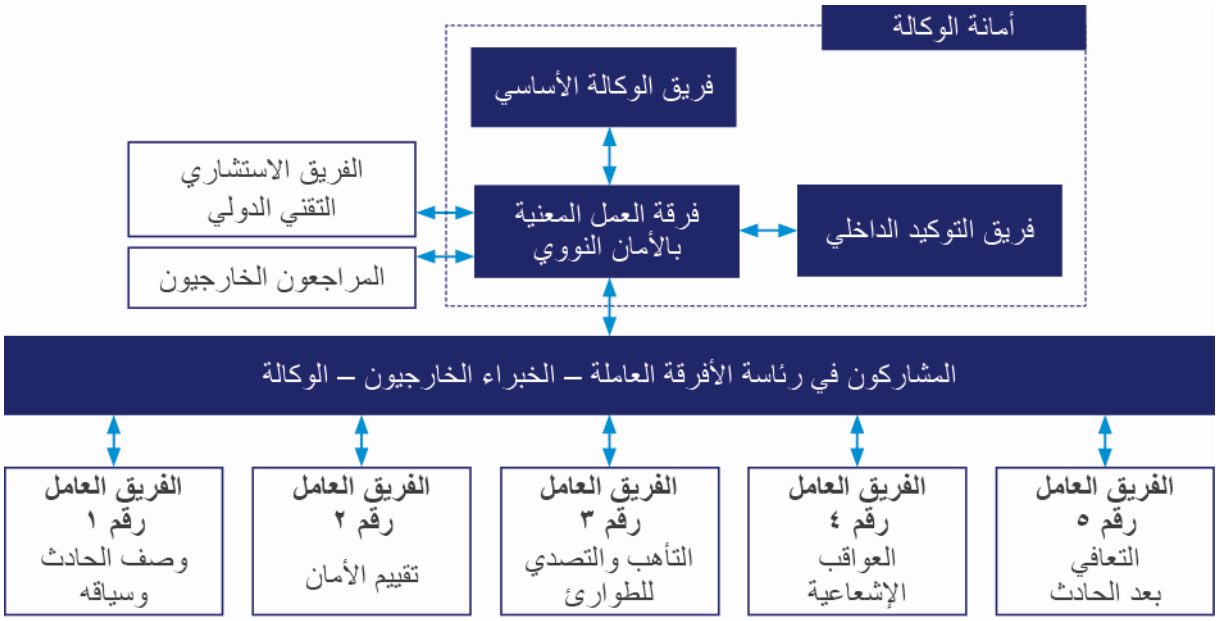
وتم إجلاء الأشخاص الذين كانوا على مسافة شعاع طوله ٢٠ كم من الموقع وفي المناطق المعيَّنة الأخرى، وصدرت تعليمات إلى الأشخاص الذين كانوا على مسافة شعاع يتراوح طوله بين ٢٠ و٣٠ كم بالاحتماء قبل إبلاغهم لاحقاً بإخلاء المكان طواعية. وفرضت قيود على توزيع الأغذية واستهلاكها وعلى استهلاك مياه الشرب. ولا يزال أشخاص كثيرون يعيشون خارج المناطق التي جرى إجلاؤهم منها.

وبعد استقرار ظروف المفاعلات في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية[٢٤] بدأ العمل للتحضير للإخراج النهائي من الخدمة. واستُهلَّت في عام ٢٠١١ جهود تعافي المناطق المتأثرة بالحادث، بما في ذلك استصلاح المجتمعات والبنية الأساسية وإنعاشها.

١-١- تقرير عن حادث فوكوشيما داييتشي

أعلن المدير العام في المؤتمر العام للوكالة في أيلول/سبتمبر ٢٠١٢ أن الوكالة ستُعد تقريراً عن حادث فوكوشيما داييتشي. وصرَّح المدير العام بعد ذلك بأن ذلك التقرير يهدف إلى تقديم "تقييم موثوق ومستند إلى الوقائع ومتوازن يعالج أسباب الحادث وعواقبه، وكذلك الدروس المستفادة منه" [2].

والتقرير عن حادث فوكوشيما داييتشي هو ثمرة تعاون دولي موسَّع بين خمسة أفرقة عاملة ضمت نحو ١٨٠ خبيراً من ٤٢ دولة عضواً (حائزة وغير حائزة لبرامج قوى نووية) والعديد من الهيئات الدولية. وكان ذلك كفيلاً بتحقيق تمثيل واسع للخبرة والمعرفة. وقدَّم فريق استشاري تقني دولي المشورة بشأن القضايا التقنية والعملية. وأنشئ فريق أساسي مؤلَّف من الإدارة العليا في الوكالة من أجل تقديم التوجيه ولتيسير التنسيق واستعراض التقرير. وأنشئت آليات استعراض إضافية داخلية وخارجية، حسب ما هو مبيَّن في الشكل ١-١.



١-١ - هيكل الوكالة التنظيمي لإعداد التقرير عن حادث فوكوشيما داييتشي.

[٢٤] في ١٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١، أعلن مكتب التصدي المتكامل المشترك بين الحكومة وشركة طوكيو للطاقة الكهربائية أن شروط 'حالة الإغلاق على البارد' قد تحققت في الوحدات من ١ إلى ٣. وعرَّفت حكومة اليابان مصطلح 'حالة الإغلاق على البارد' في ذلك الوقت تحديداً لمحطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. ويختلف تعريف المصطلح عن تعريفه المستخدم في الوكالة وفي غيرها.

ويتألَّف هذا التقرير الصادر عن المدير العام من موجز جامع وتقرير موجز. وهو يعتمد على خمسة مجلدات تقنية مفصَّلة من إعداد خبراء دوليين وعلى مساهمات العديد من الهيئات الدولية المعنية. ويتضمن التقرير وصفاً للحادث وأسبابه وتطوره وعواقبه بالاستناد إلى تقييم البيانات والمعلومات المستمدة من عدد كبير من المصادر المتاحة حتى آذار/مارس ٢٠١٥، بما يشمل نتائج الأعمال التي جرى الاضطلاع بها تنفيذاً لخطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي (خطة العمل)[٢٥]، ويسلِّط الضوء على الملاحظات والدروس الرئيسية. وقدَّمت حكومة اليابان وسائر المنظمات في اليابان كميات كبيرة من البيانات.

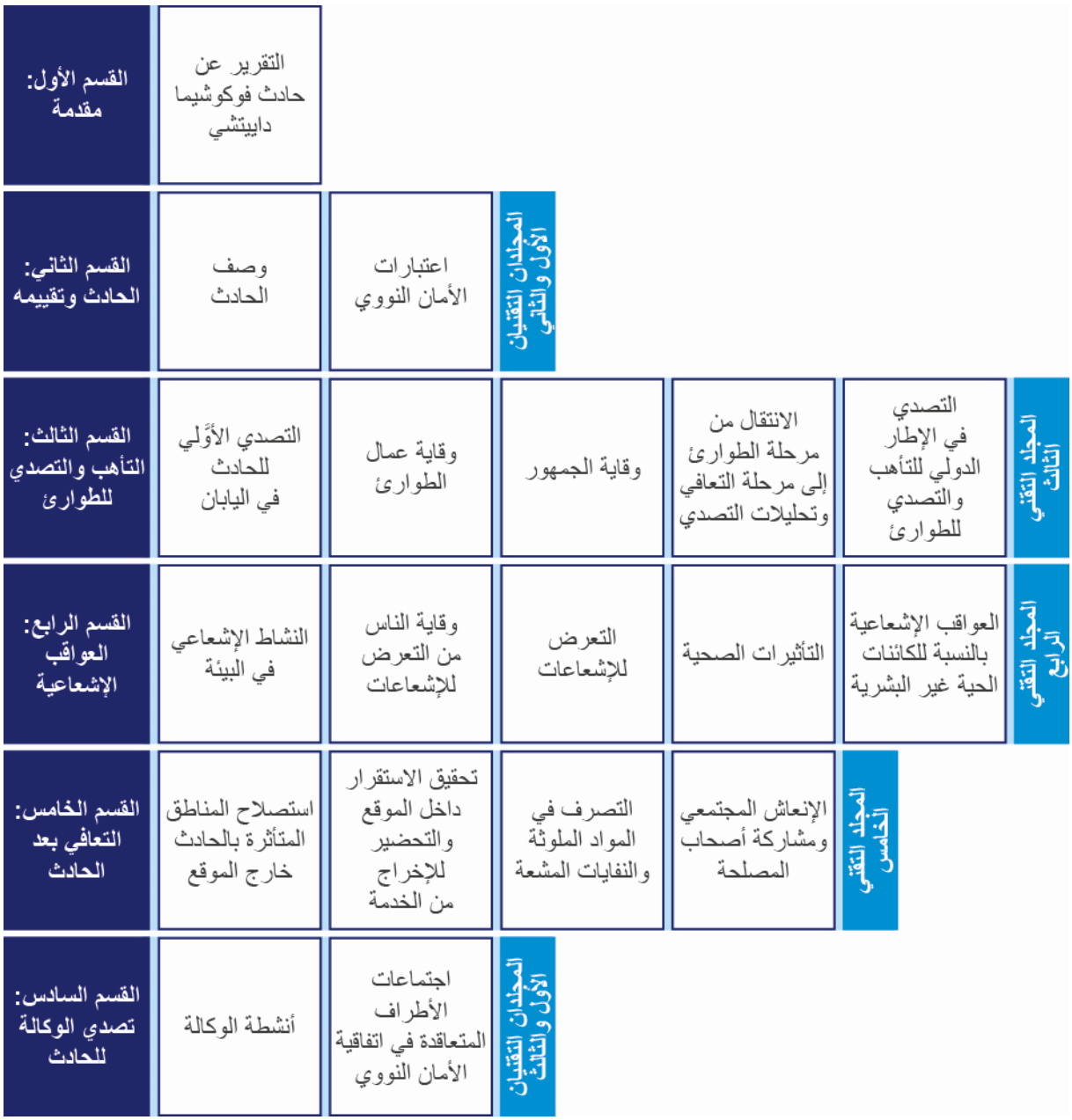
وتستهدف المجلدات التقنية الخمسة جمهورًا يتضمَّن السلطات ذات الصلة في الدول الأعضاء في الوكالة، والمنظمات الدولية، والهيئات الرقابية النووية، والمنظمات التي تتولى تشغيل محطات القوى النووية، ومصممي المرافق النووية، والخبراء الآخرين المختصين بالمسائل المتصلة بالقوى النووية.

ويتألف هذا التقرير الصادر عن المدير العام من الأقسام الستة التالية:

- القسم الأول: مقدِّمة.
- القسم الثاني: الحادث وأسبابه، بما في ذلك وصف لتسلسل الأحداث وتقييم للدور الذي ساهمت به الأحداث الطبيعية الشديدة في وقوع الحادث النووي العنيف.
- القسم الثالث: التأهب والتصدي للطوارئ، بما يشمل ترتيبات وقاية عمال الطوارئ والجمهور، وتنفيذ تلك الترتيبات أثناء الحادث وبعده مباشرة.
- القسم الرابع: العواقب الإشعاعية للحادث، بما يشمل تعرض العاملين والجمهور للإشعاعات، والتأثيرات الصحية والبيئية.
- القسم الخامس: أنشطة التعافي بعد الحادث، بما في ذلك إخراج المحطة من الخدمة، واستراتيجيات استصلاح المناطق المتأثرة خارج الموقع، والتصرف في النفايات، واستراتيجيات الإنعاش.
- القسم السادس: نظرة عامة على أنشطة الوكالة والأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي في إطار التصدي للحادث.

وترد في الأقسام من الثاني إلى الخامس الملاحظات الرئيسية والدروس المستفادة المستخلصة من السمات الخاصة بالحادث. ويبين الشكل ١-٢ العلاقة بين محتوى تقرير المدير العام ومحتوى المجلدات التقنية.

[٢٥] حدَّدت خطة العمل التي أقرها المؤتمر العام بالوكالة بالإجماع في دورته العادية الخامسة والخمسين، برنامج عمل لتعزيز الإطار العالمي للأمان النووي. وهي تشمل اثني عشر إجراءً رئيسياً متصلاً بما يلي: تقييمات الأمان؛ واستعراضات النظراء التي تُجريها الوكالة؛ والتأهب والتصدي للطوارئ؛ والهيئات الرقابية الوطنية؛ والمنظمات المشغِّلة؛ ومعايير أمان الوكالة؛ والإطار القانوني الدولي؛ والدول الأعضاء التي تخطط للشروع في برنامج للقوى النووية؛ وبناء القدرات؛ ووقاية الناس والبيئة من الإشعاعات المؤينة؛ والتواصل وتعميم المعلومات؛ وأنشطة البحث والتطوير. ويمكن الرجوع إلى مناقشة مفصَّلة لخطة العمل بشأن الأمان النووي في القسم ٦-١.



الشكل ١-٢ - هيكل التقرير الموجز وعلاقته بمحتوى المجلدات التقنية

٢- الحادث وتقييمه

يعرض هذا القسم وصفاً موجزاً للحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، يليه تقييم للعوامل التي يُعتقد أنها ساهمت في أسبابه وعواقبه.

ويتناول القسم ٢-١ بالوصف الأحداث الرئيسية حسب تسلسلها الزمني، بما في ذلك أثر الزلزال والتسونامي وما تبع ذلك من أحداث.

ويقيم القسم ٢-٢ أسباب الحادث. ويبدأ القسم بتقييم لمواطن ضعف محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية في مواجهة الأخطار الخارجية، ويتناول تصميم المحطة، وتطور الحادث، وجهود المشغِّلين في الحفاظ على وظائف الأمان الأساسية وما اتخذوه من إجراءات. وينظر هذا القسم أيضاً في فعالية الإطار الرقابي في اليابان، وكذلك أثر الاعتبارات البشرية والتنظيمية على الأمان النووي.

٢-١- وصف الحادث

يستند الوصف الوارد أدناه بالأساس إلى المعلومات التي قدَّمتها حكومة اليابان إلى الوكالة [3, 4]، وإلى تقارير لجان التحقيق التي أنشأتها الحكومة اليابانية [5, 6]، والبرلمان الياباني [7] وشركة طوكيو للطاقة الكهربائية "شركة تيبكو" [8]، بما في ذلك التحديثات والملاحق التكميلية المقدَّمة من شركة تيبكو [9, 10]. والهيئة الرقابية [11] وبعثات الوكالة التي ترد قائمة بها في القسم ٦. وترد على حدة مصادر المعلومات الأخرى.

وتعرض الأحداث بالترتيب الزمني ووقعت بعض الأحداث الرئيسية بصورة متزامنة أو أثَّرت في الإجراءات المتخذة في أماكن أخرى داخل الموقع.

٢-١-١- الحدث البادئ والتصدي

الزلزال وانقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع

وقع الزلزال الكبير الذي ضرب شرق اليابان في ١١ آذار/مارس ٢٠١١ في الساعة ١٤:٤٦ بتوقيت اليابان، أي في الساعة ٥:٤٦ بتوقيت غرينتش[٢٦] قبالة الساحل الشرقي لليابان. ونجم الحادث عن انطلاق مفاجئ للطاقة في نقطة الالتقاء التي تندفع فيها الصفيحة التكتونية في المحيط الهادي تحت الصفيحة التكتونية لأمريكا الشمالية (الشكل ٢-١). واستمرت الهزة الرئيسية التي بلغت قوتها ٩ درجات [12] لأكثر من دقيقتين وصاحبتها عدة نبضات كبيرة وهزات لاحقة. ويُعد هذا الحدث أحد أكبر الزلازل المسجلة التي وقع معظمها أيضاً في مناطق على طول الصفيحة التكتونية للمحيط الهادئ: الزلزالان اللذان وقعا في عام ١٩٦٠ وعام ٢٠١٠ في شيلي بقوة بلغت ٩,٥ درجات و٨,٨ درجات على التوالي، وذانك الذين ضربا ألاسكا (١٩٦٤) وسوماطرا (٢٠٠٤)، وبلغت قوة كل منهما ٩,٢ درجة.

[٢٦] توقيت غرينتش متأخر تسع ساعات عن توقيت اليابان. ويستخدم التقرير توقيت اليابان في كل الحالات ما لم يرد ما يشير إلى خلاف ذلك.

الشكل ٢-١: مركز زلزال شرق اليابان الكبير ومحطات القوى النووية القريبة من مركز الزلزال.

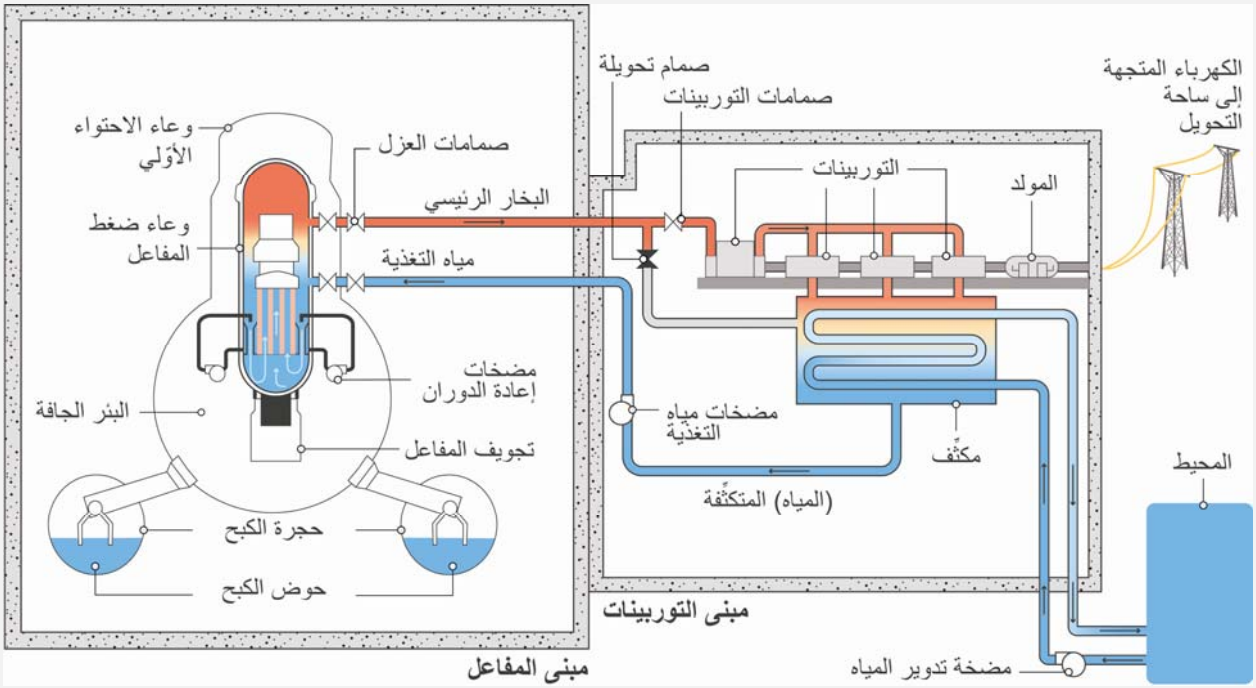
عندما وقع الزلزال، كانت ثلاثة من بين المفاعلات الستة التي تعمل بالماء المغلي في محطة فوكوشيما للقوى النووية (الإطار ٢-١) [13] تعمل بكامل طاقتها، وكانت ثلاثة منها مغلقة لإعادة تزويدها بالوقود ولصيانتها. وأُغلقت مفاعلات العاملة في الوحدات ١-٣ تلقائياً عندما كشفت أجهزة الاستشعار في المحطة الحركة الأرضية ونشطت نُظم وقاية المفاعل وفقا للتصميم. وحقق هذا الإجراء التلقائي تحكماً في التفاعلية.

استمر قلب المفاعل في توليد حرارة (تُعرف بحرارة الاضمحلال) حتى عندما بعد إغلاقه. وللحيلولة دون ارتفاع حرارة الوقود النووي إلى مستويات مفرطة، كان من اللازم التخلص من هذه الحرارة باستخدام نُظم تبريد كانت تدار أو يتم التحكم فيها أساساً باستخدام القوى الكهربائية. و ألحق الزلزال أضرارًا بمعدات ساحة تحويل الكهرباء داخل الموقع ومعدات المحطات الفرعية خارج الموقع، وخطوط القوى الكهربائية التي تمد المحطة بالقوى الكهربائية (التيار المتردد، خارج الموقع)، وهو ما أدى إلى انقطاع كل القوى الكهربائية خارج الموقع. وبدأت مرافق القوى الكهربائية الاحتياطية داخل الموقع، وهي مولدات الكهرباء الاحتياطية

التي تعمل بالديزل والمصمَّمة للتعامل مع حالات انقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع، في العمل تلقائياً لاستعادة التيار المتردد في كل الوحدات الست.

الإطار ٢-١- مفاعلات الماء المغلي

تستخدم مفاعلات الماء المغلي دورة بخار مباشرة مغلقة على النحو المبيَّن في الشكل التخطيطي الوارد أدناه. والمائع المستخدم هو الماء الذي يستخدم كمبرِّد للتخلص من الحرارة وكمهدئ للتحكم في التفاعلية. ويغلي الماء المبرِّد في قلب المفاعل تحت ضغط قدره ٧ ميغاباسكال تقريباً، ويُستخدم البخار المتولِّد في تحريك التوربينات لتوليد الكهرباء. وبعد المرور من التوربينات، يتكثَّف البخار متحولاً إلى ماء عن طريق تبريده في أنابيب المكثِّف التي تُملأ بماء بارد يؤخذ من بالوعة حرارة، مثل المحيط. ويُضخ بعد ذلك الماء الناتج عن التكثيف في المفاعل كماء للتغذية.



وعُزلت الوحدات ١-٣ تلقائياً عن نُظم التوربينات بسبب انقطاع القوى الكهربائية، وأسفر ذلك عن زيادات في درجة الحرارة والضغط في المفاعلات بسبب حرارة الاضمحلال. وبُردت المفاعلات عقب هذا العزل باستخدام الترتيبات التصميمية والتشغيلية التالية (الإطار ٢-٢):

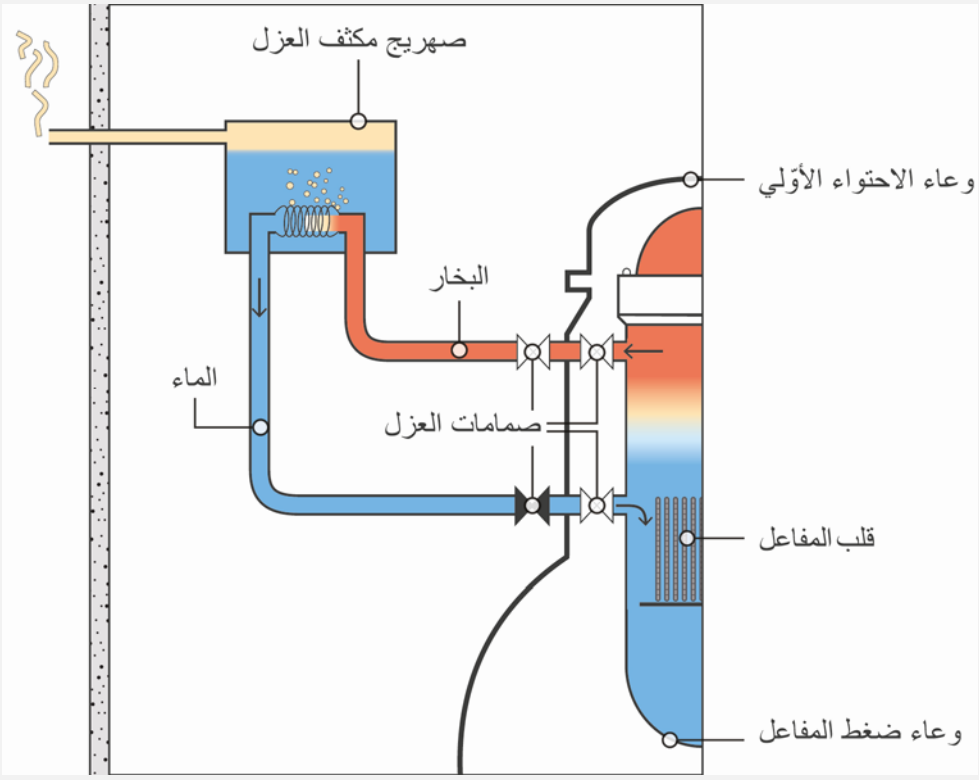
- بينما ارتفع ضغط المفاعل في الوحدة ١، بدأت أنشوطتي نظام مكثف العزل في العمل تلقائياً واستمرتا في تبريد المفاعل. وأدّى تشغيل أنشوطتي مكثفات العزل إلى تخفيض ضغط المفاعل ودرجة حرارته بسرعة دفعت المشغلين إلى وقفهما تلقائياً وفقاً لإجراءات من أجل منع حدوث إجهاد حراري على وعاء ضغط المفاعل. واستخدم المشغِّلون بعد ذلك أنشوطة واحدة للتحكم في معدل التبريد[٢٧] في الحدود المنصوص عليها في تلك الإجراءات.
- في الوحدتين ٢ و٣، نشّطت زيادة ضغط المفاعل تلقائياً صمامات الأمان التي كانت مصمَّمة لحماية المفاعل من تكوِّن ضغط زائد عن طريق تصريف البخار من وعاء المفاعل إلى القسم الخاص بحوض الكبح في وعاء الاحتواء الأوّلي. وأدى ذلك إلى انخفاض في مستويات ماء المفاعل. ونشّط المشغلون نظام تبريد عزل قلب المفاعل يدوياً وفقاً للإجراءات.

[٢٧] في مفاعلات الماء المغلي، يُرصد معدل التبريد ويتم التحكم فيه عن طريق تخفيض ضغط المفاعل، ويقابل ذلك بدوره انخفاض درجة حرارة المفاعل.

الإطار ٢-٢ - نُظم تبريد قلب المفاعل عندما يكون المفاعل معزولاً عن التوربينات

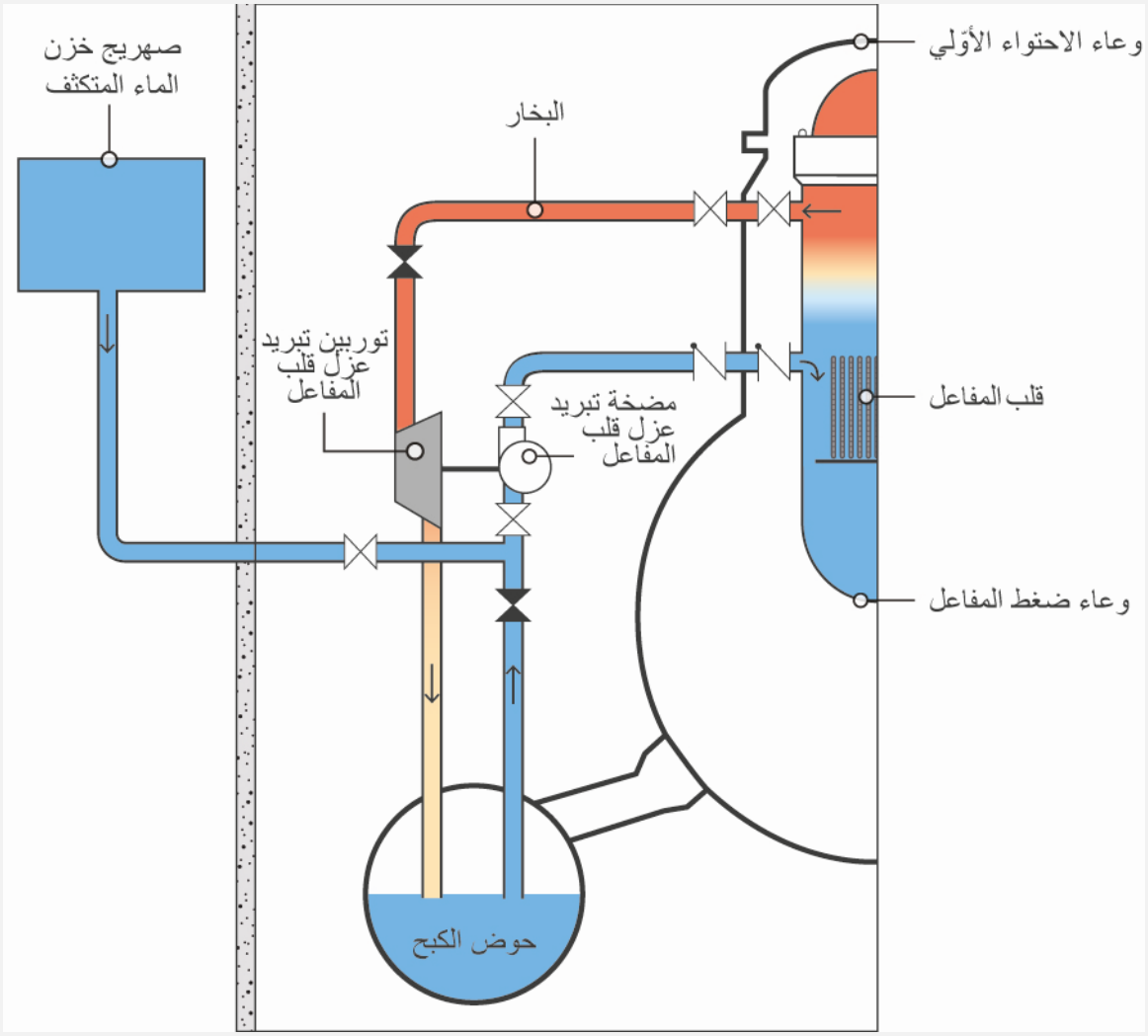
يتحقق التبريد العادي لمفاعلات الماء المغلي أثناء إغلاقها تحت الضغط المرتفع عن طريق توجيه البخار من المفاعل إلى المكثِّف الرئيسي متجاوزاً التوربينات (انظر الإطار ٢-١). غير أن هذا المسار لا يكون متاحاً عندما يكون المفاعل معزولاً، ويتحقق تبريد قلب المفاعل عن طريق النُظم المصمَّمة لمفاعل معزول في ظروف الضغط المرتفع التي توجد بعد إعلاق المفاعل. وفي تصميم محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية تمثَّلت هذه النُظم في الآتي: نظام مكثف العزل للوحدة ١ (التصميم السابق) ونظام تبريد عزل قلب المفاعل في الوحدات ٢-٦.

مكثِّف العزل. شمل تصميم الوحدة ١ أنشوطتين، منفصلة واحتياطية، لمكثفات العزل. وفي هاتين الأنشوطتين المغلقتين، استقبل الجانب الأولي لمكثف العزل البخار المتولِّد في المفاعل وكثَّفه عن طريق تبريده داخل أنابيب مبدلات الحرارة التي كانت مغمورة في صهاريج مياه أكثر برودة (أحواض مكثفات العزل) خارج وعاء الاحتواء الأوّلي. وأُعيد بعد ذلك البخار المتكثِّف في شكل ماء بارد إلى المفاعل بفعل الجاذبية (انظر الشكل البياني أدناه). وبدون الامتزاج بمياه الجانب الأولي المشع، بدأت مياه الجانب الثانوي في أحواض مكثفات العزل في الغليان، وانطلق البخار إلى الغلاف الجوي الذي شكَّل بالوعة الحرارة. وكان حجم مياه الجانب الثانوي من مكثف العزل (كلتا القاطرتين) كافياً للتبريد لمدة ثماني ساعات قبل أن يلزم تجديده من مصدر مياه مخصص لهذا الغرض.



تبريد عزل قلب المفاعل. في تصميم الوحدات ٢-٦، كانت هناك نُظم تبريد مفتوحة الدورة تطلبت مصدراً لإضافة المياه إلى نظام المفاعل. وفي نُظم تبريد عزل قلب المفاعل، كان البخار المتولد من المفاعل يحرك توربيناً صغيراً يشغل بدوره مضخة مياه في المفاعل تحت ضغط مرتفع. وكان البخار الذي يشغِّل التبريد يصرف ويراكم في قسم حوض الكبح في وعاء الاحتواء الأوّلي الذي كان يشكِّل بالوعة الحرارة لامتصاص حرارة النفايات. وكانت المياه المفقودة من المفاعل تُجدَّد بمياه عذبة من صهريج خزن الماء المتكثف (انظر الشكل البياني أدناه). وعند تفريغ الصهريج أو امتلاء حوض الكبح، تسنى استخدام المياه المتراكمة في حوض الكبح ليتحول النظام أساساً إلى دورة مغلقة الأنشوطة. وصمِّم تبريد عزل قلب المفاعل للعمل لمدة لا تقل عن أربع ساعات.

الإطار ٢-٢ - نُظم تبريد قلب المفاعل عندما يكون المفاعل معزولاً عن التوربينات (تابع)



وكان لا بد أيضاً من إزالة حرارة الاضمحلال من الوقود النووي في الوحدات ٤-٦:

— في الوحدة ٤، توقفت معدات تبريد مياه حوض الوقود المستهلك وإعادة ملئه[٢٨] عن العمل بسبب انقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع. وكان حوض الوقود المستهلك في الوحدة ٤ الذي كان يحتوي على أكثر من ١ ٣٠٠ مُجمعة وقود مستهلك يحتفظ بأكبر مقدار من حرارة الاضمحلال التي كان لا بد من التخلص منها بين كل أحواض الوقود المستهلك في الوحدات.

[٢٨] تملأ أحواض الوقود المستهلك التي تُخزَّن فيها مُجمعات الوقود المستعملة والجديدة، بالمياه لتوفير تدريع إشعاعي ولإزالة الحرارة من الوقود النووي المخزن فيها. غير أنه بدون التبريد، من شأن مياه الأحواض أن تبدأ في التبخر في نهاية المطاف. وإذا استمرت هذه الحالة بدون إعادة تغذية الأحواض بالماء، يتوقف تبريد الوقود عندما ينخفض مستوى المياه وينكشف غطاء الوقود. وينشأ عن الحرارة المفرطة وكشف الغطاء أضرار بالوقود وانطلاق نويدات مشعة.

- في الوحدة ٥، انخفض في البداية ضغط المفاعل الذي كان يتم الإبقاء عليه مرتفعاً عن طريق استخدام مضخة لأغراض اختبار الضغط وقت وقوع الزلزال عندما توقفت المضخة بسبب انقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع. وبدأ الضغط في الارتفاع بسبب حرارة الاضمحلال ولكنه ظل أقل بكثير من مستويات الضغط الموجب لتنشيط صمامات الأمان خلافاً لما كان في الوحدتين ٢ و٣.
- في الوحدة ٦، كان ضغط المفاعل قريباً من مستوى الضغط الجوي وكانت درجة حرارة المفاعل قريبة من درجة حرارة الغرفة أثناء وجود الوقود في قلب المفاعل، وكانت حرارة الاضمحلال منخفضة.

في أحواض الوقود المستهلك في جميع الوحدات وفي حوض الوقود المستهلك المشترك[٢٩] حيث فقدت إمكانات التبريد وإعادة التغذية بعد انقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع، بدأت درجات حرارة مياه الأحواض في الارتفاع بسبب حرارة الاضمحلال.

وفي إطار التصدي للزلزال وانقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع، نشّط المشغلون إجراءات تشغيلية غير عادية 'على أساس الأحداث' في كل غرف التحكم الرئيسية الثلاث في الوحدات الست[٣٠]. وجرى تنشيط فريق للتصدي لحالة الطوارئ الناجمة عن الزلزال في مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع في المبنى المعزول زلزالياً.[٣١] وكان مراقب الموقع مسؤولاً عن توجيه التصدي داخل الموقع والتنسيق مع المنظمات داخل الموقع وخارجه، باعتباره مدير مركز التصدي للطوارئ التابع لشركة تيبكو. وكان ثلاثة من مراقبي النوبات في كل غرفة من غرف التحكم الرئيسية مسؤولين عن توجيه الإجراءات في وحدتهم تحت قيادة مراقب الموقع.

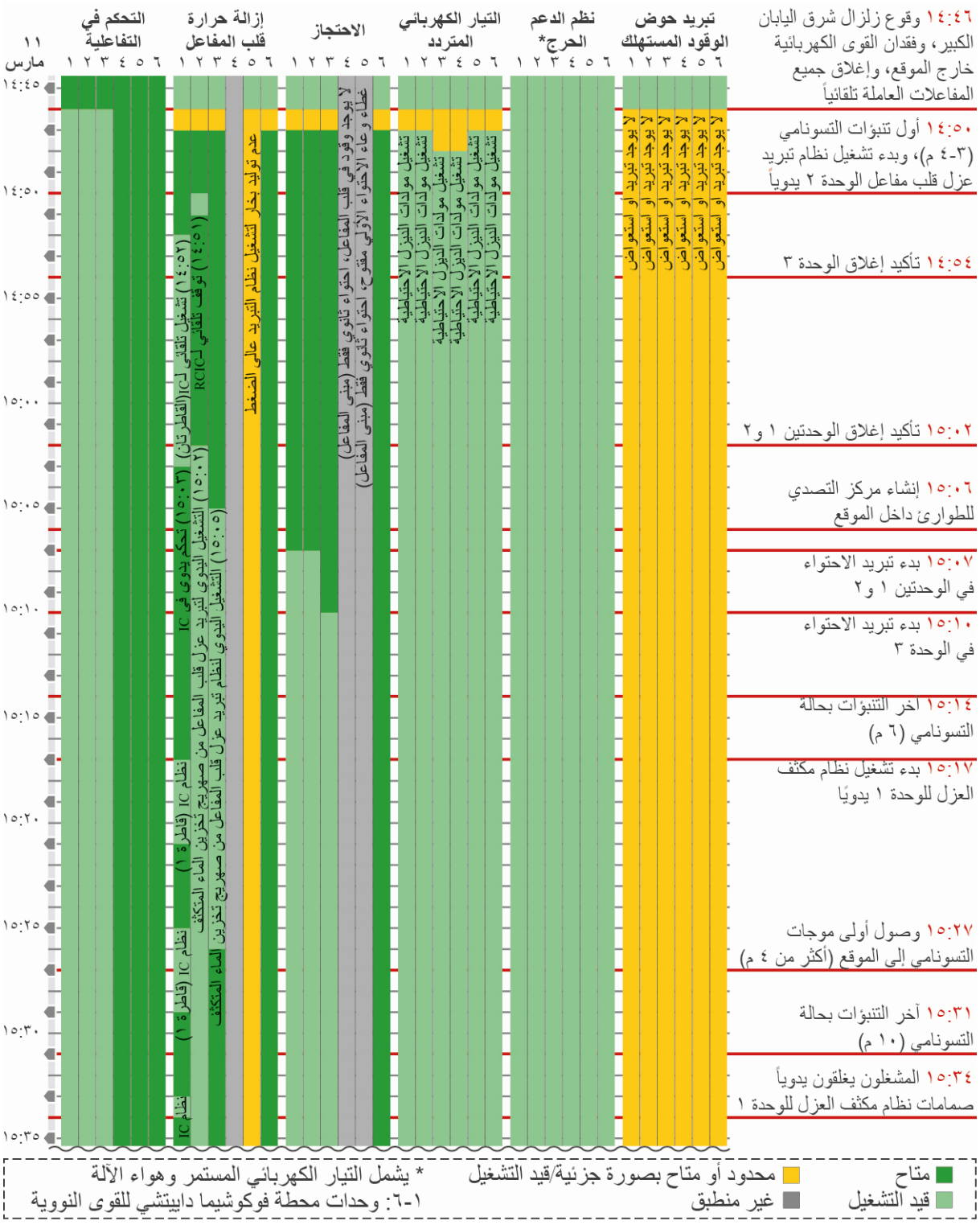
وتصدت الوحدات في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية للحدث البادئ – الزلزال والانقطاع المتزامن في القوى الكهربائية خارج الموقع – على النحو المتوخى في التصميم وحسب ما تنص عليه إجراءات التشغيل (باستثناء بعض إجراءات المشغِّل التي تعرقلت أو تأخرت بسبب الهزات اللاحقة) (الشكل ٢-٢).

---

[٢٩] خزنت في حوض الوقود المستهلك المشترك الذي كان بمثابة مرفق ثانوي مشترك بين الوحدات في مبنى منفصل بالقرب من الوحدة ٤ أكثر من ٦ ٠٠٠ مُجمعة وقود مستهلك كانت كلها تحتاج إلى إزالة حرارة الاضمحلال منها.

[٣٠] تقاسمت كل وحدتين غرفة تحكم رئيسية مشتركة، أي الوحدتان ١ و٢، والوحدتان ٣ و٤، والوحدتان ٥ و٦.

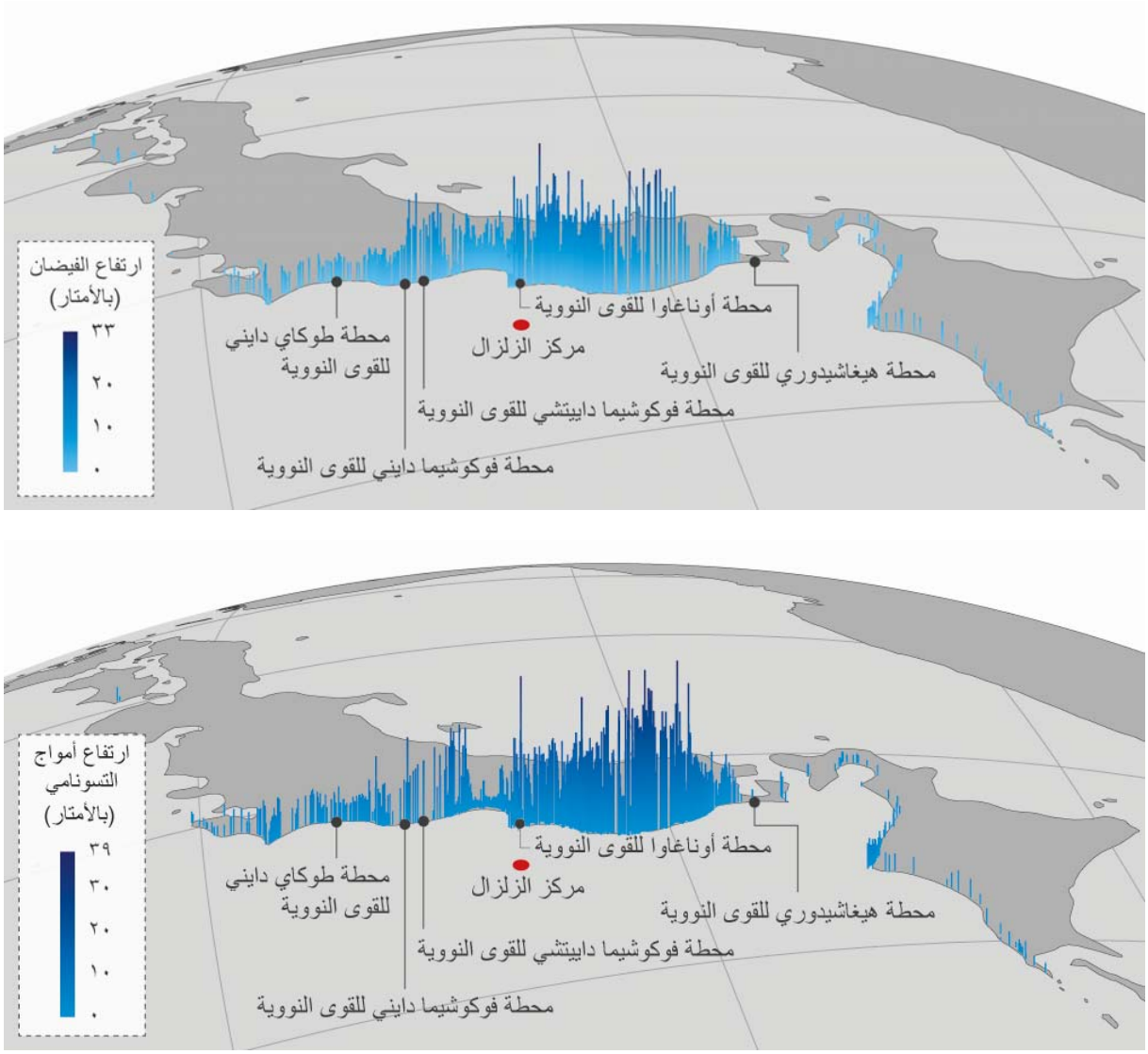
[٣١] أقيم المبنى المعزول زلزالياً نتيجة للخبرة المكتسبة من تأثيرات زلزال نيغاتاكين-شويتسو-أوكي في محطة كاشيوازاكي-كاريوا للقوى النووية في عام ٢٠٠٧، ووضع موضع التشغيل في تموز/يوليه ٢٠١٠. وصُمِّم المبنى لتحمل الزلازل وجهز بقوى كهربائية احتياطية. واحتوى المبنى على تهوية مرشَّحة وتدريع للوقاية من النشاط الإشعاعي.



الشكل ٢-٢: تصدي محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية للزلزال وانقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع.

التسونامي وانقطاع التيار الكهربائي في المحطة

أدّى الزلزال، بالإضافة إلى إحداث حركة أرضية قوية، إلى إزاحة مقدار هائل من المياه، مما أدّى إلى حدوث سلسلة من أمواج تسونامي كبيرة [14]. وعندما وصلت أمواج التسونامي هذه إلى الساحل نجمت عنها آثار تدميرية في مساحة شاسعة (الشكل ٢-٣).



الشكل ٢-٣: تباين تأثير أمواج التسونامي من حيث الفيضان (الجزء العلوي) وارتفاع الأمواج (الجزء السفلي)[٣٢] على أساس الخصائص الجغرافية للساحل وتضاريسه [15].

وبدأت أمواج التسونامي في الوصول إلى محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بعد نحو ٤٠ دقيقة من وقوع الزلزال. وكان الموقع محمياً من الموجة الأولى التي تراوح ارتفاعها بين ٤ و٥ أمتار بفضل حواجز بحرية ضد أمواج تسونامي كانت مصمَّمة للوقاية من ارتفاع أقصى لأمواج التسونامي، وهو ٥,٥ أمتار [16]. غير أنه بعد نحو ١٠ دقائق من الموجة الأولى، أغرقت الموجة الثانية والأكبر التي تراوح ارتفاعها بين ١٤ و١٥ م، الحواجز البحرية وغمرت الموقع. وأغرقت الموجة جميع الهياكل والمعدات التي كانت موجودة في الواجهة البحرية وكذلك المباني الرئيسية (بما فيها مباني المفاعلات والتوربينات والخدمات) التي كانت قائمة على ارتفاعات أعلى[٣٣] (الشكل ٢-٤)، وتسبب ذلك في سلسلة الأحداث التالية:

---

[٣٢] طغيان الموجة هو ارتفاعها عند أبعد نقطة على الشاطئ، والارتفاع الفيضاني هو ذروة ارتفاع الموجة بالنسبة لمستوى سطح البحر.

[٣٣] كانت مباني الإدارة والمبنى المعزول زلزالياً الذي كان يحتوي على مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع تقع في منحدر ارتفاعه ٣٥ م تقريباً (وهو ارتفاع الموقع التضاريسي الأصلي قبل حفر منطقة الموقع لوضع الوحدات في مواضعها أثناء التشييد).

- غمرت الموجة مضخات مياه البحر والمحركات غير المحمية في أماكن سحب المياه من البحر إلى داخل المحطة على الشاطئ وألحقت أضراراً بها؛ وكان ذلك يعني أن نُظم المحطة ومكوناتها الأساسية، بما فيها مولدات الكهرباء الاحتياطية المبَّردة بالماء وتعمل بالديزل[٣٤] تعذَّر تبريدها لضمان استمرار تشغيلها.
- غمرت الموجة مبنى الخزن الجاف الواقع بالقرب من الشاطئ بين الوحدات ١-٤ والوحدتين ٥-٦ وألحقت أضراراً بها. ولم تقع أي آثار كبيرة على براميل الخزن والوقود المخزَّن فيها حسب ما جرى تأكيده لاحقاً [17].
- دخلت المياه المباني وأغرقتها، بما فيها جميع مباني المفاعل والتوربينات، والمبنى المشترك لخزن الوقود المستهلك، ومبنى المولدات التي تعمل بالديزل. وألحقت المياه أضراراً بالمباني والمعدات الكهربائية والميكانيكية في الطابق الأرضي والطوابق الدنيا. وشملت المعدات التي أصيبت بأضرار مولدات الكهرباء الاحتياطية التي تعمل بالديزل أو وصلات القوى المتصلة بها، وهو ما أدى إلى انقطاع التيار المتردد الاحتياطي. ولم يؤثر الفيضان في أداء مولد احتياطي واحد فقط مبرد بالهواء كان يعمل بالديزل، وهو المولِّد الخاص بالوحدة ٦[٣٥] وظل هذا الأخير يعمل واستمر في تزويد نُظم الأمان الخاصة بالوحدة ٦ بالتيار المتردد الاحتياطي وأتاح بذلك تبريد المفاعل.

ونتيجة لتلك الأحداث، فقدت الوحدات ١-٥ جميع القوى الكهربائية المتولدة بالتيار وهي حالة يُطلق عليها انقطاع التيار الكهربائي في المحطة

وبالنظر إلى انقطاع التيار الكهربائي في المحطة في الوحدات ١-٥، تم الشروع في إجراءات التشغيل في حالات الطوارئ الناجمة عن 'انقطاع جميع القوى الكهربائية المتولدة بالتيار المتردد' [18]. وأعلن مراقب الموقع الذي كان رئيساً لمركز التصدي للطوارئ داخل الموقع الخاص بالمنظمة المشغِّلة، وهي شركة تيبكو، عن "حدث محدَّد" حسب ما هو وارد في اللوائح المتصلة بقانون التدابير الخاصة المتعلقة بالتأهب للطوارئ النووية [19]، المشار إليها فيما يلي باسم قانون الطوارئ النووية، استناداً إلى حالة 'عدم توفر بعض نُظم الأمان'. وأُبلغت الوكالات ذات الصلة خارج الموقع بذلك وفقاً لمتطلبات قانون الطوارئ النووية.

وكانت وحدات محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية مصممة بحيث تكون قادرة على الصمود في حالة انقطاع الكهرباء عن المحطة، على غرار المحطات الأخرى من نفس العمر، لمدة ثماني ساعات اعتماداً على قدرة بطاريات التيار المستمر في وحدات المفاعلات[٣٦].

---

[٣٤] كانت كل وحدة تحتوي على زوج من مولدات الكهرباء الاحتياطية التي تعمل بالديزل، وكانت الوحدة ٦ تحتوي على مولِّد إضافي. ومن هذه المولدات التي بلغ عددها ١٣ مولداً، زوِّدت الوحدات ٢ و٤ و٦ بمولدات مبرَّدة بالهواء. وبالنظر إلى أن تلك المولدات كانت مبرَّدة بالهواء فإن صلاحيتها للتشغيل لم تتأثر مباشرة بفقدان مياه التبريد جراء تلف مضخات مياه البحر.

[٣٥] لم تتأثر، فيما يبدو، المولِّدات المبرَّدة بالهواء التي تعمل بالديزل في حالات الطوارئ الخاصة بالوحدتين ٢ و٤ (في الطابق الأرضي من المبنى المشترك لخزن الوقود المستهلك)، والوحدة ٦ (بالطابق الأول من مبنى منفصل على ارتفاع أعلى) بمياه الفيضان. غير أن مكونات المولِّدات المبرَّدة بالهواء التي تعمل بالديزل في حالات الطوارئ (أي معدات التحويل، ومراكز القوى، والألواح، وغيرها) الخاصة بالوحدتين ٢ و٤ في الطابق السفلي من المبني المشترك لخزن الوقود المستهلك تعرضت لأضرار بسبب المياه.

[٣٦] تزوَّد محطات القوى النووية عموماً بمصادر للقوى الكهربائية المتولدة بالتيار المستمر داخل الموقع وبمصادر احتياطية إضافية للقوى الكهربائية المتولدة بالتيار المتردد (أي مولدات توربينات الغاز أو محركات الديزل) كي تكون قادرة على الصمود في حالة انقطاع التيار الكهربائي عن المحطة لفترة زمنية محدودة تتراوح بين ٤ و٧٢ ساعة. ويستند تحديد فترة التحمل أساساً إلى المدة التي تستغرقها إعادة مصادر القوى الكهربائية المتولدة بالتيار المتردد إلى محطة القوى النووية وقدرة التدابير المتاحة. وتُستخدم في غضون ذلك معدات، مثل بطاريات التيار المستمر، والمقومات العكسية للتيار المستمر/التيار المتردد ومصادر التيار المتردد الاحتياطية الثانوية الأخرى (مثل توربينات الغاز أو المولدات التي تعمل بالديزل).

الشكل ٢-٤: ارتفاعات وأماكن هياكل ومكونات محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية [20].

انقطاع التيار الكهربائي المستمر في الوحدات ١، و٢، و٤

جُهِّزت جميع الوحدات في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية بمصادر للتيار المستمر داخل الموقع لتوفير إمدادات القوى في حالات الطوارئ، ولكن الفيضانات أثرت أيضاً على هذه المعدات في الوحدات ١، و٢، و٤، وغمرت بطاريات التيار المستمر، أو ألواح القوى الكهربائية، أو التوصيلات. وفقد بالتالي تدريجياً التيار الكهربائي المستمر في الوحدات ١ و٢ و٤ أثناء الدقائق العشر أو الخمس عشرة الأولى من الفيضانات وبات من الصعب التغلب على انقطاع التيار الكهربائي في المحطة.

ونظراً لانقطاع جميع القوى (المتولدة بالتيار المتردد والتيار المستمر)، لم يعد في مقدور مشغلي المحطتين ١ و٢ رصد البارامترات الأساسية للمحطة، مثل ضغط المفاعل، ومستوى ماء المفاعل، أو حالة النُظم الرئيسية ومكوناتها المستخدمة في تبريد قلب المفاعل. وكما جاء من قبل فقد فُقدت القدرة على إزالة الحرارة من أحواض الوقود المستهلك في كل الوحدات بعد انقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع. وأسفر انقطاع التيار الكهربائي المستمر في الوحدات ١ و٢ و٤ هو الآخر عن عدم تمكُّن المشغلين من رصد درجة حرارة الماء ومستوياته في أحواض الوقود المستهلك في تلك الوحدات.

وفي ظل عدم وجود إجراءات لمعالجة انقطاع جميع القوى (المتولدة بالتيار المتردد والتيار المستمر)، لم تكن لدى مشغلي الوحدات ١ و٢ و٤ تعليمات محددة بشأن كيفية التعامل مع انقطاع التيار الكهربائي في المحطة في تلك الظروف. وبدأ المشغلون وموظفو مركز التصدي للطوارئ في استعراض الخيارات المتاحة وتحديد السُبل الممكنة لاستعادة القوى الكهربائية وبذلك استعادة القدرة على رصد المحطة والتحكم فيها.

التصدي في الوحدات ٣ و٥ و٦

احتفظت الوحدات ٣ و٥ و٦ بالقوى الخاصة بها وهو ما مكن المشغلين من مراقبة حالة المحطة حيث استمرت المؤشرات وأجهزة التحكم في غرفة التحكم الرئيسية في العمل. وأتاح ذلك للمشغِّلين مواصلة إجراءاتهم التشغيلية الطارئة 'على أساس الأعراض' في التصدي للأحداث:

- في الوحدة ٣، فتحت تلقائياً صمامات الأمان لوقاية وعاء المفاعل من تكون ضغط مفرط، وأعاد المشغِّلون تشغيل نظام تبريد عزل قلب المفاعل يدوياً، والتحكم في ضغط مياه المفاعل ورصده باستخدام التيار الكهربائي المستمر. وأغلق المشغِّلون أيضاً المعدات غير الحرجة الأخرى لتحقيق أقصى قدر من جاهزية بطاريات التيار المستمر من أجل إطالة مدة التغلب على انقطاع التيار الكهربائي في المحطة.
- أتيح أيضاً تيار كهربائي مستمر في الوحدة ٥. ولم يكن المفاعل يولِّد بخاراً، ولذلك تعذرت إزالة الحرارة المتبقية باستخدام نظام التبريد العالي الضغط. ولم تنجح محاولة تجريب خيارات بديلة لخفض ضغط وعاء المفاعل للتمكين من ضخ المبرِّد باستخدام نُظم منخفضة الضغط، واستمر ارتفاع الحرارة والضغط في وعاء المفاعل الذي كان مضغوطاً وممتلئاً بالماء.
- لم ينقطع التيار الكهربائي في الوحدة ٦ نظراً لأن القوى الكهربائية المتولدة بالتيار المتردد كانت متاحة من مولد احتياطي واحد كان يعمل بالديزل. وهنا ركزت الجهود على الحفاظ على وظائف الأمان الأساسية للتغلب على انقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع. وكان ضغط المفاعل عند مستوى الضغط الجوي، وأتاح ذلك استخدام نظم منخفضة الضغط لضخ مياه التبريد؛ غير أن بعض المكونات الضرورية لتلك النُظم كانت قد تضررت من الفيضان وباتت في حاجة إلى إصلاح.

٢-١-٢- تطورات الحادث

حالة الطوارئ النووية في الوحدتين ١ و٢

نظراً لانقطاع جميع القوى الكهربائية في الوحدتين ١ و٢، لم تكن هناك أي مؤشرات متاحة للمشغلين لمعرفة ما إذا كانت نُظم الأمان تعمل بشكل سليم أو ما إذا كانت تعمل أصلاً، من أجل الحفاظ على وظائف الأمان

الأساسية[٣٧]. وأعلن مشغلو المحطة بعد أن عجزوا عن تحديد مستوى الماء في المفاعل والحالة التشغيلية لنُظم التبريد، أن تبريد قلب المفاعل (وظيفة الأمان الأساسية) قد فُقدت. وبالتالي، أبلغ مركز التصدي داخل الموقع أجهزة التصدي خارج الموقع ومقر شركة تيبكو والسلطات الحكومية ذات الصلة أن ظروف الطارئ النووي قائمة في الوحدتين ١ و٢ على أساس 'عدم قدرة نظام تبريد قلب المفاعل في حالات الطوارئ على ضخ الماء' [21].

وضع استراتيجية للتصدي للحوادث العنيفة

بدأ الموظفون في مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع في اتباع المبادئ التوجيهية المحددة للتصدي للحوادث العنيفة، ونشّط المشغلون في غرفة التحكم الرئيسية المشتركة بين الوحدتين ١ و٢ الإجراء التشغيلي للتصدي للحوادث العنيفة. وبعد أن بدا أن نظام تبريد قلب المفاعل قد تضرر، ركزت استراتيجية التصدي للحادث على ضخ المياه في المفاعلات لمنع أو تخفيف إمكانية تضرر الوقود النووي. وحُدِّد خياران لضخ الماء في المفاعلات:

- استخدام نُظم يمكن أن تضخ الماء مباشرة في المفاعلات حتى تحت ضغط مرتفع، وهو ما تطلب استعادة التيار الكهربائي المتردد.
- استخدام معدات بديلة، مثل أجهزة الإطفاء النقالة ومضخات الإطفاء الثابتة التي تعمل بالديزل ويمكنها ضخ المياه تحت ضغط منخفض، وتطلب ذلك تخفيض ضغط المفاعلات ومواءمة خطوط الوقاية من الحرائق من أجل ضخ المياه في قلب المفاعل[٣٨].

واعتمد مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع استراتيجية تبريد قلب المفاعل التي تقوم باستخدام مضخات الإطفاء الثابتة التي تعمل بالديزل وأجهزة الإطفاء من خلال نظام الوقاية من الحرائق لحقن المياه في المفاعلات، بالإضافة إلى توصيل مصادر مؤقتة للقوى.

وأعطي تنفيذ هذه الاستراتيجية في الوحدتين ١ و٢ الأولوية العليا، وكانت هذه الاستراتيجية قابلة للتطبيق على كل الوحدات الأخرى بعد إدخال بعض التغييرات عليها. من ذلك على سبيل المثال أن إجراءات التصدي للحادث في الوحدة ٥ تمثَّلت في استعادة التيار الكهربائي المتردد عن طريق استخدام الخط المتاح للتوصيل المشترك[٣٩] مع المولد الاحتياطي الذي كان يعمل بالديزل في الوحدة ٦.

حالة تبريد قلب المفاعل في الوحدتين ١ و٢

أوقف المشغِّلون مكثِّف العزل في الوحدة ١ مباشرة قبل وقوع التسونامي وفقاً لإجراءات تشغيل محددة للتحكم في معدل تبريد المفاعل. وتحقق ذلك عن طريق إغلاق الصمامات (خارج وعاء الاحتواء الأوّلي وتعمل بالتيار المستمر، كما هو مبين في الإطار ٢-٢). وبعد نحو ساعتين ونصف الساعة من فقدان المؤشرات في الساعة ١٨:١٨ من يوم ١١ آذار/مارس، تبيَّن أن بعض مصابيح الإشارة في تلك الصمامات كانت لا تزال

---

[٣٧] تأكدت وظيفة الأمان الأساسية المتعلقة بالتحكم في التفاعلية قبل انقطاع التيار الكهربائي في المحطة من خلال مؤشرات كشفت عن إدخال قضبان التحكم وتوقف التفاعل الانشطاري.

[٣٨] صُمم نظام الوقاية من الحرائق أساساً لإطفاء الحرائق وغمر وعاء الاحتواء بالماء وليس لضخ المياه في المفاعل.

[٣٩] رُكِّبت خطوط ربط مشترك في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية قبل عقد من الزمن لتحسين التصميم فيما يتعلق بالتصدي للحوادث. ولم يكن تقاسم القوى الكهربائية الطارئة العاملة في الوحدة ٦ ممكناً إلاّ مع الوحدة ٥ نظراً لأن هذه التوصيلات المشتركة لم تكن مركبة إلاّ بين كل زوج من الوحدات، أي الوحدتان ١ و٢، والوحدتان ٣ و٤، والوحدتان ٥ و٦.

سليمة، وهو ما أكد أن صمامات التحكم كانت مغلقة. وحاول المشغِّلون تشغيل مكثِّف العزل عن طريق فتح تلك الصمامات. أن مكثف العزل لم يشتغل مما دل على أن صمامات العزل التي كانت تعمل بالتيار الكهربائي المتردد (داخل وعاء الاحتواء الأوّلي) كانت مغلقة.[٤٠] ولذلك، فقدت وظيفة الأمان الأساسية المتعلقة بتبريد قلب المفاعل في الوحدة ١ عندما أوقف المشغِّلون مكثف العزل قبل وقوع التسونامي مباشرة، وارتفعت حرارة قلب المفاعل في الوحدة ١ منذ ذلك الحين.

وبالإضافة إلى ذلك، أشارت القياسات المحلية (في مبنى المفاعل) في الساعة ٢٠:٠٧ أن المفاعل كان لا يزال قريباً من الضغط التشغيلي البالغ ٧٠ بار (٧ ميغاباسكال) وحال ذلك دون ضخ المياه بأساليب بديلة لم تكن ممكنة إلاّ تحت ضغط قدره ٨ بار (٠,٨ ميغاباسكال).

وبعد عدة تقارير من مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع بشأن حالة الوحدة ١ والوحدات الأخرى، وبعد موافقة رئيس الوزراء في الساعة ١٨:٣٠، أعلنت حكومة اليابان عن وقوع طارئ نووي في الساعة ١٩:٠٣ من يوم ١١ آذار/مارس[٤١].

وفي الوحدة ٢، التي كانت أيضاً بدون أي مؤشرات على عمل نظام تبريد قلب المفاعل وضغطه ودرجة حرارته، افترض المشغلون سيناريو الحالة الأسوأ المتمثل في توقف نظام تبريد عزل قلب المفاعل عن العمل واستمرار ارتفاع درجة حرارة قلب المفاعل في الوحدة ٢. وفي الساعة ٢١:٠١ أبلغ مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع السلطات الحكومة أنها تتنبأ بأن يؤدي عدم وجود أي تبريد إلى كشف قلب مفاعل الوحدة ٢ في حوالي الساعة ٢١:٤٠. وبعد هذه التنبؤات، أصدر رئيس الوزراء بصفته المدير العام للمقر الرئيسي للتصدي للطوارئ النووية أمراً في الساعة ٢١:٢٣ من يوم ١١ آذار/مارس بإجلاء الجمهور الموجود في حدود ٣ كم وإيوائه في حدود مسافة تراوحت بين ٣ و١٠ كم من الموقع[٤٢].

وتأكد انكشاف قلب مفاعل الوحدة ١ عندما اكتُشفت مستويات إشعاعية عالية في مبنى المفاعل من جانب فريق كان قد أُرسل في الساعة ٢١:٥١ لتأكيد حالة تشغيل مكثِّف العزل[٤٣]. وكانت تلك إشارة على شدة الظروف في مفاعل الوحدة ١، وإمكانية تضرر قلب المفاعل.

تدهور الأوضاع في نظام الاحتواء في الوحدة ١

في أعقاب تأكيد توقف تبريد قلب المفاعل في الوحدة ١، ظهرت تحديات أخرى في وظيفة أخرى من وظائف الأمان الأساسية، وهي الاحتواء، عندما تسنت قراءة ضغط وعاء الاحتواء في الساعة ٢٣:٥٠ من يوم ١١ آذار/مارس. وتجاوز ضغط وعاء الاحتواء الحد الأقصى للضغط المحتاط له في التصميم، ودفعت هذه

---

[٤٠] لم تكن وضع الصمامات واضحا بالنسبة إلى المشغلين نظرًا إلى التوقيت غير المؤكد وتسلسل كل نوع من أنواع انقطاع الكهرباء الذين من شأنهما تحديد حالة صمامات العزل. وكان من المفترض أن تحافظ جميع مكثفات العزل على وضعها لدى انقطاع التيار المتردد، غير أن صمامات العزل التي كانت تعمل بالتيار الكهربائي المتردد مصممة لكي تغلق في حال انقطاع قوى التحكم (أي التيار المتردد).

[٤١] أنشئ في نفس الوقت المقر الرئيسي للتصدي للطوارئ النووية في مكتب رئيس الوزراء، وتولى رئيس الوزراء مسؤولياته كمدير عام للمركز من أجل توجيه التصدي الوطني لحالة الطوارئ النووية.

[٤٢] كانت الحكومة المحلية لمحافظة فوكوشيما قد أصدرت في وقت سابق في الساعة ٢٠:٥٠ أمر إجلاء للسكان المقيمين في حدود ٢ كم من المحطة بعد تقييم إعلان حالة الطوارئ النووية والتباحث مع مسؤولي شركة تيبكو حول عدم التيقن المتعلق بحالة محطات القوى النووية.

[٤٣] سجلت أجهزة قياس الجرعات الشخصية مستويات مرتفعة بلغت ٠,٨ ملّي سيفرت في نحو عشرة ثوانٍ من إقامتهم في المبنى.

المعلومات مراقب الموقع إلى إصدار أمر بالتحضير لتهوية وعاء الاحتواء في الوحدة ١. وتطلبت هذه الحالة أيضاً التبليغ عن حالة طوارئ استناداً إلى 'ارتفاع غير عادي في ضغط وعاء الاحتواء الأوّلي' على النحو المحدَّد في اللوائح المتصلة بقانون الطوارئ النووية [19].

وسجلت قياسات ضغط الاحتواء في الوحدة ١ أعلى قيمة للضغط في الساعة ٢:٣٠ وفي الساعة ٢:٤٥ من يوم ١٢ آذار/مارس.

تأكيد حالة الوحدة ٢ والتركيز على تعافي وظيفة الأمان في الوحدة ١

في الساعة ٢:١٠ من يوم ١٢ آذار/مارس، تمكَّن فريق من دخول الغرفة التي كانت توجد فيها معدات نظام تبريد عزل قلب مفاعل الوحدة ٢ وقراءة البارامترات لتحديد حالة النظام. وأُبلغت الحالة التشغيلية إلى مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع في الساعة ٢:٥٥ من يوم ١٢ آذار/مارس، وساعد ذلك على توضيح حالة تبريد قلب مفاعل الوحدة ٢ التي لم تكن معروفة من قبل، وذلك بعد نحو ١١ ساعة من توقف الرصد في غرفة التحكم الرئيسية. ومع تأكيد تبريد قلب مفاعل الوحدة ٢ والتحدي الكبير أمام وظيفة الاحتواء في الوحدة ١، قرَّر مراقب الموقع أن ينصب التصدي للحادث على جهود التهوية في الوحدة ١.

وفي الوقت الذي كان يجري فيه تطوير خطط التهوية، تبين أن استراتيجية التصدي من أجل إعادة تبريد قلب مفاعل الوحدة ١ من خلال استخدام مضخة الإطفاء لضخ الماء غير قابلة للتنفيذ نظرا إلى أنه تم اكتشاف تعطل هذه المضخة في الساعة ١:٤٨ من يوم ١٢ آذار/مارس. ونُفِّذ بعد البديل المتمثل في استخدام عربات الإطفاء المتصلة بمنفذ الضخ في مبنى التوربينات والتي كانت قد رُكِّبت في السنة السابقة كتدبير للوقاية من الحرائق استناداً إلى الخبرة المكتسبة من زلزال نيغاتاكين-شويتسو-أوكي.

ارتفاع حرارة الوحدة ٥ واستعادة التيار الكهربائي المتردد

في نفس الوقت تقريباً، فتح أحد صمامات تخفيف الضغط في الوحدة ٥ تلقائياً للمرة الأولى بعد نحو ١٠ ساعات من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة لأن ضغط المفاعل وصل إلى القيمة المحددة لفتحه وكان ذلك في الساعة ١:٤٠ من يوم ١٢ آذار/مارس. وفتح الصمام وأغلق تلقائياً عدة مرات للحفاظ على الضغط في النطاق المحدَّد في التصميم نظرا إلى استمرار حرارة مفاعل الوحدة ٥ في الارتفاع في ظل عدم وجود تدابير لإزالة الحرارة.

وظلت صمامات الأمان تعمل تلقائياً للحد من الضغط ولكن لم يكن من الممكن استخدامها لتخفيض الضغط نظراً لأنَّ وظيفة تخفيف الضغط في معظمها كانت معطَّلة لأغراض الاختبار الذي أُجري قبل وقوع الحادث. وجرى النظر في اتباع نهج بديل لتخفيض الضغط عن طريق فتح صمام صغير (فوهة التهوية الرئيسية) في وعاء المفاعل حيث كان التيار الكهربائي المستمر متاحاً لهذا الغرض. وبعد ذلك في الساعة ٦:٠٦ من يوم ١٢ آذار/مارس، أي بعد ١٤,٥ ساعات تقريباً من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة، فتحت فوهة التهوية الرئيسية من بُعد وتركت مفتوحة لتصريف ضغط وعاء المفاعل المملوء بالماء. وبالإضافة إلى ذلك، تم الانتهاء تماماً من توصيل القوى الكهربائية بين الوحدة ٥ والمولِّد الاحتياطي الذي كان يعمل بالديزل في الوحدة ٦ بعد نحو ١٦,٥ ساعات من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة، وأتاح ذلك توصيل بعض القوى الكهربائية المتولدة بالتيار المتردد إلى معدات الوحدة ٥، مثل المضخات والصمامات المطلوبة لإزالة حرارة المفاعل.

التبريد البديل لقلب مفاعل الوحدة ١

في غضون ذلك، انخفض ضغط مفاعل الوحدة ١ بما يكفي[٤٤] للسماح بطريقة بديلة لضخ المياه. وبدأ في الساعة ٤:٠٠ من يوم ١٢ آذار/مارس أي بعد ١٢,٥ ساعات تقريباً من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة استخدام أسلوب بديل للتبريد، وهو ضخ المياه العذبة من أجهزة الإطفاء إلى مفاعل الوحدة ١ لاستعادة تبريد قلب المفاعل. واستمر ضخ المياه من عربة ضخ واحدة حمولتها طن واحد بصورة متقطعة لنحو ٥,٥ ساعات، وتعيَّن على العربة أن تعود إلى صهريج المياه العذبة بشكل دوري للتزود بالمياه. وفي الوقت نفسه، استمر العمل في إنشاء خط مباشر من الصهريج. وبدأ لاحقاً بعد ما يزيد قليلاً على ١٧,٥ ساعة من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة ضخ المياه العذبة باستمرار إلى الوحدة ١ مباشرة من الصهريج.

تهوية احتواء الوحدة ١

تبين من قياس ضغط احتواء الوحدة ١ في الساعة ٤:١٩ من يوم ١٢ آذار/مارس أن الضغط في الاحتواء قد انخفض منذ آخر قياس (في الساعة ٢:٤٥) دون أي إجراء من المشغِّل وبدون مسار محدد للتهوية، وهو ما أشار إلى حدوث بعض التخفيف غير المقصود في ضغط الاحتواء من خلال مسار غير معلوم. وعلاوة على ذلك فقد كشفت مستويات الإشعاعات التي قيست عند البوابة الرئيسية بعد ذلك بفترة وجيزة عن حدوث زيادة.[٤٥] وكان ذلك مؤشراً أيضاً على انطلاق بعض المواد المشعة غير الخاضعة للتحكم من الاحتواء الأوّلي، أي تدهور الاحتواء. ودفع تدهور الأوضاع الإشعاعية في الموقع واقتران ذلك بارتفاع ضغط الاحتواء في الوحدة ١ بالحكومة إلى توسيع منطقة الإجلاء إلى عشرة كم في الساعة ٥:٤٤ من يوم ١٢ آذار/مارس.

وتقرر البدء في أنشطة تهيئة تهوية احتواء الوحدة ١ في الساعة ٩:٠٠ من يوم ١٢ آذار/مارس. وبمجرد استلام التأكيد من سلطات محافظة فوكوشيما في الساعة ٩:٠٢ بالانتهاء من إجلاء بلدة أوكوما[٤٦]، نُشّطت الفرق للبدء في تعديل الصمامات من أجل ترتيب مسار تهوية احتواء الوحدة ١. ونجحت جهود تحديد مسار للتهوية بعد ٥,٥ ساعات (الإطار ٢-٣) عندما فُتح الصمام النهائي في المسار في حوالي الساعة ١٤:٠٠ من يوم ١٢ آذار/مارس. وتأكد نجاح عملية التهوية بعد انخفاض ضغط الاحتواء وفقاً للقياسات التي أجريت في الساعة ١٤:٣٠[٤٧]، وأُبلغت السلطات الحكومية المختصة بذلك. وبالرغم من عدم حدوث تغيير ملموس فوري في قياسات الإشعاعات داخل حدود الموقع ، سُجِلت قراءة بلغت ١ ملي سيفرت/ساعة تقريباً لمعدل الجرعة الإشعاعية بعد نحو ساعة في الساعة ١٥:٢٩[٤٨] في أحد أجهزة رصد الموقع بالقرب من الحد الشمالي الغربي للوحدة ١.

---

[٤٤] حدث تخفيف لضغط المفاعل من دون أي إجراءات من المشغِّل أو نُظم المحطة وهو ما أشار إلى أن مساراً غير معلوم أتاح تخفيف الضغط.

[٤٥] زيادة بنحو عشرة أضعاف (٠٦٩ ٠,٠٠٠ ملي سيفرت/ساعة قيست في الساعة ٤:٠٠ مقابل ٥٩ ٠,٠٠٠ ملي سيفرت/ساعة في الساعة ٤:٢٣).

[٤٦] اتفق مع سلطات محافظة فوكوشيما على الانتهاء من الإجلاء للبدء في التهوية.

[٤٧] تطلبت عملية التهوية إجمالاً ١٤,٥ ساعات منذ صدور أمر مراقب الموقع (في منتصف الليل تقريباً) وكان ذلك بسبب ارتفاع مستويات الإشعاعات في المنطقة المحيطة بحجرة الكبح، التي تعيّن تعديل صماماتها يدوياً، وبسبب نقص إمدادات الهواء المضغوط اللازم لتشغيل الصمامات.

[٤٨] في الساعة ١٦:١٧، لاحظ مركز التصدي للطوارئ أن قياس الإشعاعات الذي أُجري في الساعة ١٥:٣١ بالقرب من البوابة الرئيسية بلغ ٠,٥٦٩ ملي سيفرت/ساعة وأُخطرت به السلطات في الساعة ١٦:٢٧ نظراً لأن قيمته تجاوزت المعيار القانوني الموجب للإبلاغ، وهو ٠,٥ ملي سيفرت /ساعة. وتم تصحيح الإخطار في الساعة ١٦:٥٣ عندما تبين أن مستوى الإشعاع الذي قيس في الساعة ١٥:٢٩ كان ١,٠١٥ ملي سيفرت/ساعة، أي بعد تهوية الوحدة ١ (ولكن قبل حدوث الانفجار في الوحدة ١).

توقف التبريد العادي لقلب المفاعل والبدء في التبريد الاحتياطي لقلب المفاعل في الوحدة ٣

بينما كان يجري إنشاء نظام لتهوية الاحتواء في الوحدة ١، تعين تعديل التصدي للانقطاع في التيار الكهربائي في الوحدة ٣ عندما توقف نظام تبريد عزل قلب المفاعل عن العمل في الساعة ١١:٣٦ من يوم ١٢ آذار/مارس بعد ٢٠,٥ ساعة تقريباً من التشغيل المتواصل. وحاول المشغِّلون دون طائل إعادة تشغيل النظام عدة مرات، وبالتالي، استمر غليان الماء وتبخره في المفاعل، واستمر مستوى ماء المفاعل في الانخفاض.

وعندما وصل مستوى الماء إلى النقطة التي ينشط عندها نظام ضخ المبرد العالي الضغط تلقائياً – تم تفعيل نظام التبريد الاحتياطي لقلب المفاعل – في الساعة ١٢:٣٥، وحافظ هذا النظام تلقائياً على مستوى ماء المفاعل ضمن النطاق المحدد سلفًا. ومع ذلك قام المشغلون بالتحكم فيه يدوياً لتجنب تكرار تشغيل النظام وتوقفه تلقائياً من أجل الحفاظ على التيار الكهربائي المستمر لمدة أطول وفقاً لإجراءات التصدي لانقطاع التيار الكهربائي في المحطة.

ضخ مياه البحر وتوصيل إمدادات القوى الكهربائية إلى الوحدة ١

بعد ١١ ساعة تقريباً من ضخ المياه في قلب مفاعل الوحدة ١، استنفدت المياه العذبة في صهريج مياه الوقاية من الحرائق بشكل كامل تقريباً. ونتيجة لذلك توقف ضخ المياه العذبة في الوحدة ١ في الساعة ١٤:٥٣ من يوم ١٢ آذار/مارس. وقرر مراقب الموقع بعد ذلك ضخ مياه البحر في مفاعل الوحدة ١ من حفرة صمام الماء، من الوحدة ٣، المرتجع التي تجمعت فيها مياه البحر عقب التسونامي، وكانت تلك الحفرة هي مصدر المياه الوحيد المتاح آنذاك. وتم الانتهاء من ترتيبات ضخ مياه البحر في أكثر قليلاً من نصف ساعة.

وانتهت في نفس الوقت تقريباً أعمال توصيل إمدادات القوى الفلطية النقالة[٤٩] إلى الوحدتين ١ و٢ باستخدام محول سليم في الوحدة ٢ وأُعيد تشغيل شبكة منخفضة الفلطية لإمداد الوحدة ١ بالقوى الكهربائية المولدة بالتيار المتردد في الساعة ١٥:٣٠ من يوم ١٢ آذار/مارس.

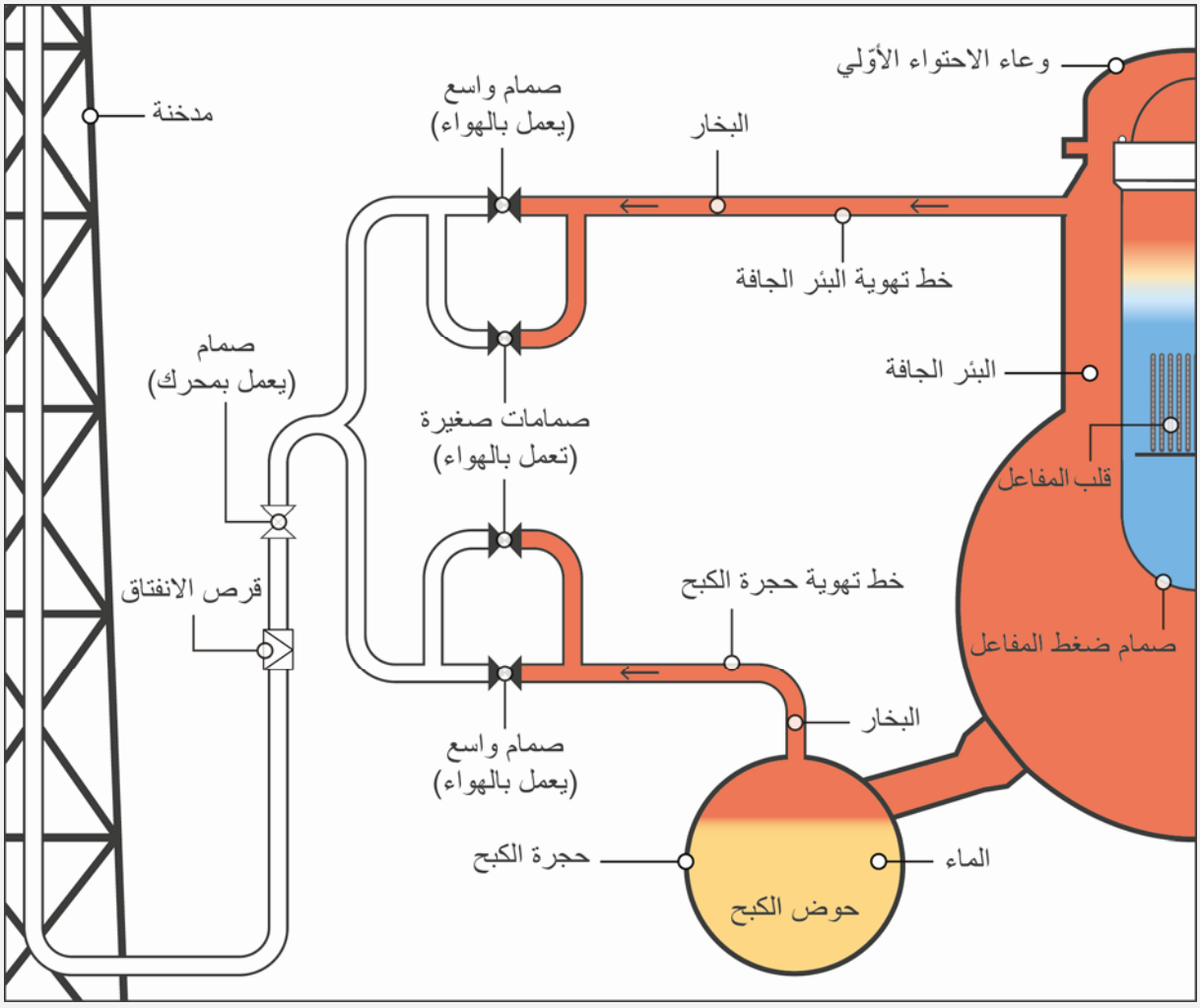
وبعد ٢٤ ساعة تقريباً من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة، تم توصيل نظام ضخ مياه البحر والتيار الكهربائي المتردد إلى الوحدة ١. غير أنه بعد دقائق من التوصيل، وقع في مبنى مفاعل الوحدة ١ انفجار ألحق أضراراً بهذين الترتيبين قبل إمكانية وضعهما موضع الاستخدام.

[٤٩] بعد ساعة واحدة تقريباً من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة يوم ١١ آذار/مارس، أُرسلت معدات نقالة لتوليد القوى (مركبات للإمداد بالقوى المنخفضة والعالية الفلطية) إلى موقعي محطتي فوكوشيما داييتشي وفوكوشيما داييني للقوى النووية. ووصلت المركبة الأولى من شركة طوهوكو للطاقة الكهربائية في حوالي الساعة ٢٢:٠٠ من يوم ١١ آذار/مارس، أي بعد ٦ ساعات تقريباً من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة. ووصل المزيد من المركبات من سائر مرافق شركة تيبكو وشركة طوهوكو للطاقة الكهربائية ومن قوات الدفاع الذاتي اليابانية إلى المواقع طوال الليل وبحلول الساعة ١٠:١٥ من يوم ١٢ آذار/مارس، بلغ مجموع عدد المركبات ٢٣ في الموقع.

الإطار ٢-٣- تهوية الاحتواء

تهوية رُكِّبت في وحدات محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية في تسعينات القرن الماضي 'فتحات تهوية محكمة' (أي أجهزة لتخفيف الضغط مزوَّدة بأنابيب تصريف جدرانها سميكة نسبياً) كتدبير لتحسين القدرة على التصدي للحوادث العنيفة بناء على قرار رقابي [22, 23]. وكان الهدف من ذلك هو منع ارتفاع ضغط الاحتواء الأوّلي إلى مستويات مفرطة عن طريق السماح بتهوية الاحتواء (انظر الشكل أدناه). وبالرغم من أن المسار المفضل للتهوية كان من حجرة الكبح من أجل الاستفادة من إزالة النظائر المشعة عن طريق حوض المياه، شمل مسار التهوية طريقاً آخر ممتداً من البئر الجافة. ويمكن مواءمة أي من المسارين عن طريق تعديل الصمامات من غرفة التحكم الرئيسية والتحكم في مقدار الانطلاق ومدته من خلال مدخنة مشتركة بين الوحدتين.

وفي محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، احتوى أيضاً خط التهوية قرصاً ينفتق عندما يتجاوز ضغط الاحتواء مستوى الضغط المحدد سلفاً ويحول بالتالي دون حدوث تهوية سابقة لأوانها. وتمثلت الفلسفة الأساسية في اليابان في عدم إجراء تهوية ما لم يكن ذلك أمراً حتمياً، وكملاذ أخير للحفاظ على سلامة الاحتواء الأوّلي من أجل تأخير أو منع حدوث انطلاق مباشر لمواد مشعة في البيئة.



الانفجار في مبنى مفاعل الوحدة ١

في الساعة ١٥:٣٦ من يوم ١٢ آذار/مارس، وقع انفجار في طابق الخدمات في مبنى مفاعل الوحدة ١، مما تسبب في إلحاق أضرار بهيكل المبنى العلوي وإحداث إصابات بين العاملين. وبالرغم من أن الانفجار لم يتلف فيما يبدو الاحتواء الأوّلي فقد تسبب في أضرار واسعة في الاحتواء الثانوي (مبنى المفاعل). ولم يكن سبب الانفجار معروفاً لموظفي المحطة، ولكن اشتبه في انطلاق الهيدروجين من قلب المفاعل وخروجه من الاحتواء الأوّلي عبر مسار غير معلوم. وطلب بعد ذلك مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع إجلاء

الموظفين من داخل الوحدات ١-٤ ومن المناطق المحيطة بها، بما في ذلك غرفتي التحكم المشتركتين الرئيسيتين، باستثناء أقدم ثلاثة موظفين.

وبعد ثلاث ساعات تقريباً من وقوع الانفجار في الوحدة ١ (أي بعد ٤ ساعات من تهوية احتواء الوحدة ١) في الساعة ١٨:٢٥ من يوم ١٢ آذار/مارس، وسعت الحكومة منطقة الإجلاء لتشمل ٢٠ كم.

ضخ مياه البحر في الوحدة ١

لم يتسبب الانفجار الذي وقع في الوحدة ١ في إلحاق أضرار جسيمة بنظام ضخ مياه البحر ومجمعات خطوط القوى الكهربائية المؤقتة فحسب، بل عرقل أيضاً عمليات الإصلاح بسبب الركام الذي تناثر حول الموقع ومعدلات الجرعات المرتفعة موضعياً بسبب الركام الملوث. وفي أعقاب عملية الإجلاء التي استغرقت ساعتين تقريبًا، عاودت الفرق إصلاح المعدات التالفة أو استبدالها.

وبعد إصلاح واستبدال المعدات التالفة، بدأ ضخ المياه في مفاعل الوحدة ١ باستخدام أجهزة الإطفاء ومياه البحر من حفرة صمام المياه المرتجعة في الوحدة ٣ في الساعة ١٩:٠٤ من يوم ١٢ آذار/مارس واستمر العمل إلى ما بعد ذلك.[٥٠] وأضيف حمض البوريك لاحقاً لمعالجة بواعث القلق من تجدد الحرجية من أجل ضمان وظيفة الأمان الأساسية المتعلقة بالتحكم في التفاعلية وظل قلب مفاعل الوحدة ١ عموماً دون تبريد لمدة ٤ ساعات تقريباً خلال الفترة من نهاية ضخ المياه العذبة وبداية ضخ مياه البحر.

توقف تبريد قلب المفاعل في الوحدة ٣

بينما انصبت أولوية الاهتمام على الوحدة ١ فيما يتعلق بالحفاظ على وظائف الأمان الأساسية أثناء أول يوم ونصف اليوم من وقوع الزلازل والتسونامي، أصبحت حالة تبريد قلب المفاعل في الوحدة ٣ مدعاة للقلق صباح يوم الأحد ١٣ آذار/مارس.

وبعد ١٤ ساعة من التشغيل المتواصل للنظام الاحتياطي لضخ المبرد العالي الضغط، ساور مشغلي الوحدة ٣ قلق بشأن عولية وإمكانية تعطل توربين النظام الذي كان يزود المضخة بالقوى والذي كان يعمل آنذاك تحت ضغط بخار المفاعل المنخفض. وارتبط هذا القلق بإمكانية تضرر التوربين، وتكوّن مسار من وعاء المفاعل فمن شأن ذلك أن يؤدي إلى انطلاق البخار المشع بصورة غير محكومة مباشرة إلى خارج الاحتواء الأوّلي. وازداد هذا القلق عندما لم يتوقف التوربين تلقائياً حسب ما كان محدداً في التصميم، عندما انخفض ضغط المفاعل إلى ما دون مستوى الضغط المؤدي إلى حدوث إغلاق تلقائي.

وقرر المشغلون بالتالي إيقاف نظام ضخ المبرد العالي الضغط واستبداله بالضخ تحت ضغط منخفض (مضخة الإطفاء التي تعمل بالديزل). واعتقد المشغِّلون أن ذلك يمكن تحقيقه دون إيقاف تبريد قلب المفاعل نظراً لأن ضغط المفاعل كان بالفعل أقل من مستوى ضغط مضخة الإطفاء التي تعمل بالديزل ويمكن الإبقاء عليه منخفضاً عن طريق استخدام صمامات تخفيف الضغط. ولذلك أوقف المشغلون نظام الضخ الاحتياطي لقلب المفاعل تحت الضغط العالي في الوحدة ٣ وشرعوا بعد ذلك في محاولاتهم فتح صمامات تخفيف الضغط.

---

[٥٠] وفقاً للتحقيقات [7]، طلب أحد المسؤولين التنفيذيين في شركة تيبكو ممن كانوا يمثلون الشركة لدى مكتب رئيس الوزراء في إحدى المرات من مراقب الموقع هاتفياً أن يوقف ضخ مياه البحر في الوحدة ١. ولم ينفذ مراقب الموقع هذا التوجيه ولم يتوقف ضخ مياه البحر.

غير أن جميع محاولات فتح صمامات تخفيف الضغط باءت بالفشل، وسرعان ما ازداد ضغط المفاعل إلى ما فوق المستوى الذي يمكن عنده لمضخة الإطفاء التي تعمل بالديزل أن تضخ الماء، وأدى ذلك إلى توقف تبريد قلب مفاعل الوحدة ٣ لمدة ٣٥ ساعة بعد انقطاع التيار الكهربائي في المحطة. وحاول المشغلون بعد أن واجهوا هذه الانتكاسة لمدة ٤٥ دقيقة تقريباً العودة معاودة الضخ عن طريق النظام الاحتياطي لضخ المبرد العالي الضغط ولكن محاولتهم لم تكلل بالنجاح. ونظراً لعدم وجود أي إمكانية لتبريد المفاعل، صدر بلاغ بوقوع طارئ بسبب 'توقف وظيفة تبريد المفاعل' على النحو المحدد في اللوائح المتصلة بقانون الطوارئ النووية [19] بالنسبة للوحدة ٣ في الساعة ٥:١٠ من يوم ١٣ آذار/مارس. وظل قلب مفاعل الوحدة دون تبريد خلال الساعات التي تلت ذلك لتصبح بذلك الوحدة ٣ هي الوحدة التالية التي تفقد تبريد قلب المفاعل.

وبعد أن فقد التبريد، أمر مراقب الموقع باستخدام أسلوب بديل لضخ المياه من أجل تبريد قلب مفاعل الوحدة ٣ باستخدام أجهزة الإطفاء في الساعة ٥:١٥. وأمر مراقب الموقع أيضاً، نظراً لتدهور الأوضاع، بتجهيز مسار تهوية احتواء الوحدة ٣.

التبريد البديل لقلب المفاعل وتهوية الاحتواء في الوحدة ٣

أُرسلت عربات الإطفاء من الوحدتين ٥ و٦ إلى الوحدة ٣ وبدأ العمل في الساعة ٥:٢١ من يوم ١٣ آذار/مارس لإنشاء خط لضخ مياه البحر في الوحدة في قلب مفاعل الوحدة ٣ من حفرة صمام المياه المرتجعة في الوحدة ٣ من خلال خطوط الوقاية من الحرائق. ووصلت عربة إطفاء إضافية من محطة كاشيوازاكي-كاريوا للقوى النووية في الساعة ٦:٣٠. وتم الانتهاء من إنشاء خط ضخ مياه البحر في غضون ساعة. غير أن مراقب الموقع أرجأ استخدامه بعد تلقيه رسالة من مقر شركة تيبكو.[٥١] ونتيجة إلى ذلك، أعيد تغيير خط الضخ إلى مصدر المياه العذبة المعالجة بحمض البوريك من خلال خط الوقاية من الحرائق باستخدام عربات الإطفاء.

وتطلبت جهود تخفيض ضغط المفاعل إلى ما دون مستوى ضغط مضخة عربة الإطفاء من أجل الحفاظ على ضخ المياه تنشيط صمامات تخفيف الضغط. وتم تحقيق ذلك من خلال استخدام بطاريات التيار المستمر من السيارات، التي تم تجميعها في غرفة التحكم الرئيسية المشتركة بين الوحدتين ٣ و٤.

وفي غضون ذلك، تم الانتهاء أيضاً من ترتيبات خط التهوية في الوحدة ٣ في أكثر قليلاً من ثلاث ساعات وذلك في الساعة ٨:٤١ من يوم ١٣ آذار/مارس، ولكن ضغط الاحتواء كان لا يزال أقل من الضغط المحدد في تصميم الاحتواء، ولم يكن مرتفعاً بالقدر الذي يكفي للتسبب في تمزق قرص الانفتاق حسبما هو مصمم. ومع استمرار جهود تخفيض ضغط المفاعل عن طريق فتح صمام الأمان، لاحظ المشغِّلون في غرفة التحكم الرئيسية انخفاض ضغط مفاعل الوحدة ٣ في الساعة ٩:٠٨ بالرغم من أن مؤشرات حالة الصمامات لم تبين بصورة قاطعة ما إذا كانت الصمامات مفتوحة. وإلى جانب ذلك التخفيف لضغط وعاء المفاعل، حدث ارتفاع في ضغط الاحتواء الأوّلي، وكان ذلك مؤشراً على حدوث تصريف من وعاء المفاعل إلى وعاء الاحتواء. وفي نهاية المطاف، في الساعة ٩:٢٠ من يوم ١٣ آذار/مارس، تجاوز ضغط الاحتواء الحد الأقصى المحدد للضغط التصميمي للاحتواء وانخفض بعد ذلك ضغط الاحتواء انخفاضاً سريعاً، وهو ما أشار إلى أن تهوية احتواء الوحدة ٣ قد حدثت نتيجة لتمزق قرص الانفتاق.

---

[٥١] سأل مدير أحد الشعب في مركز الطوارئ خارج الموقع في مقر شركة تيبكو والذي كان قد حضر اجتماع في مكتب رئيس الوزراء في وقت سابق مراقب الموقع هاتفياً عما إذا كانت هناك أي مياه عذبة متاحة. وأبلغ ذلك الشخص مراقب الموقع بآراء المشاركين في الاجتماع الذين كانوا يميلون إلى مواصلة ضخ المياه العذبة لأطول فترة ممكنة. وفسَّر مراقب الموقع هذه الرسالة بعدم ضخ مياه البحر ما دامت المياه العذبة متاحة.

وبعد تخفيف ضغط المفاعل عن طريق فتح صمامات الأمان الإضافية، انخفض الضغط إلى ما دون مستوى ضغط مضخة عربة الإطفاء وبدأ ضخ المياه العذبة المعالجة بحمض البوريك في مفاعل الوحدة ٣ الساعة ٩:٢٥ بعد أكثر من ٤ ساعات بدون تبريد.

ولم تستمر تهوية احتواء الوحدة ٣ طويلاً عندما انغلق صمام في خط التهوية[٥٢] بسبب نقص إمدادات الهواء الكافية لإبقائه مفتوحاً. وبعد جهود استمرت ٦,٥ ساعات، أعيد فتح الصمام باستخدام ضاغطة هواء نقالة.

التدابير الاحترازية لوظائف الأمان الأساسية في الوحدة ٢

في حوالي الساعة ١٠:١٥ من يوم ١٣ آذار/مارس وفي ظل ازدياد صعوبة الحفاظ على وظائف الأمان الأساسية في الوحدتين ١و ٣، أمر مراقب الموقع بالتمهيد لتفريغ مسار تهوية الاحتواء في الوحدة ٢. وكان الغرض من ذلك هو الاستفادة من الظروف الإشعاعية التي كانت لا تزال مواتية مقارنة بظروف الوحدات الأخرى والاتجاه السائد على نطاق الموقع[٥٣] لإجراء الأعمال في مبنى مفاعل الوحدة ٢ حيث تعيَّن تعديل الصمامات. وأُنجز العمل في ٤٥ دقيقة، ولكن التهوية لم تتحقق بسبب عدم ارتفاع الضغط داخل احتواء الوحدة ٢ بما يكفي لتمزيق قرص الانفتاق.

وفي حوالي الساعة ١٢:٠٥، أمر مراقب الموقع أيضاً باتخاذ استعدادات احترازية لضخ مياه البحر في الوحدة ٢ في حال تعطل نظام التبريد العامل في الوحدة. ولهذا الغرض، جرى توصيل عربات الإطفاء بخطوط الوقاية من الحرائق الخاصة بالوحدة ٢ لضخ المياه من حفرة صمام المياه المرتجعة في الوحدة ٣، إذا اقتضت الحاجة ذلك.

ضخ مياه البحر في الوحدة ٣ وارتفاع مستويات الإشعاعات

نظراً لاستنفاد المياه العذبة في صهاريج الوقاية من الحرائق في الساعة ١٢:٢٠ من يوم ١٣ آذار/مارس، قرر مراقب الموقع ضخ مياه البحر في مفاعل الوحدة ٣. وغيّرت عربات الإطفاء مواقعها وبدأ ضخ مياه البحر من حفرة صمام المياه المرتجعة في الوحدة ٣ بعد ساعة واحدة تقريباً، أي في الساعة ١٣:١٢.

وفي الساعة ١٤:١٥ من يوم ١٣ آذار/مارس، تم قياس معدل جرعة إشعاعية مرتفع (قرابة ١ ملي سيفرت/ساعة) بالقرب من حد الموقع وأخطرت الوكالات الحكومية ذات الصلة في الساعة ١٤:٢٣ بحدوث 'زيادة غير عادية في مستوى الإشعاعات عند حد الموقع' على النحو المحدد في اللوائح المتصلة بقانون الطوارئ النووية [19]. وبعد ثماني عشرة دقيقة، تجاوز معدل الجرعة الإشعاعية ١٠٠-٣٠٠ ملي سيفرت/ساعة عند أبواب دخول مبنى مفاعل الوحدة ٣. وبالنظر إلى أن قياسات معدلات الجرعة في غرفة التحكم الرئيسية المشتركة بين الوحدتين ٣ و ٤ من ناحية الوحدة ٣ تجاوزت ١٢ ملي سيفرت/ساعة، انتقل فريق النوبة إلى الجانب الخاص بالوحدة ٤.

واستدل مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع من مستويات الجرعة على تسرب غازات من مفاعل الوحدة ٣، وكان ذلك يعني بدوره أن الهيدروجين قد تسرب هو الآخر. وإدراكاً من مراقب الموقع لإمكانية حدوث انفجار هيدروجيني مماثل للانفجار الذي وقع في الوحدة ١، قرر في الساعة ١٤:٤٥ إجلاء العاملين مؤقتاً من غرفة التحكم الرئيسية المشتركة بين الوحدتين ٣ و ٤ ومن المناطق القريبة من الوحدة.

---

[٥٢] اكتشف بعد ساعتين.

[٥٣] فيما بين الساعة ٥:٣٠ و١٠:٥٠ من يوم ١٣ آذار/مارس، اكتشفت نيوترونات على مسافة ١ كم تقريباً من مباني المفاعلات في الوحدات ١-٤ بالقرب من البوابة الرئيسية، وهو ما أشار إلى إمكانية تصدع وعاء الاحتواء، بالرغم من أن مصدر النيوترونات لم يكن معروفاً.

وشملت المناطق التي جرى إجلاؤها أيضاً منطقة حفرة صمام المياه المرتجعة الخاصة بالوحدة ٣، وأدى ذلك إلى توقف أنشطة ضخ المياه. وأُلغي أمر الإجلاء في الساعة ١٧:٠٠، وعاد العاملون إلى منطقة حفرة صمام المياه المرتجعة في الوحدة ٣ لمواصلة أنشطة ضخ المياه والتهوية.

تبريد قلب المفاعل في الوحدة ٥

في غضون ذلك، جرى توصيل القوى الكهربائية من المولد الاحتياطي الذي كان يعمل بالديزل في الوحدة ٦ وذلك في الساعة ٢٠:٤٨ من يوم ١٣ آذار/مارس بمضخة النظام العادي لإزالة الحرارة تحت الضغط المنخفض في الوحدة ٥، وتم تنشيط النظام في الساعة ٢٠:٥٤. وتم تجهيز خط لضخ المياه في مفاعل الوحدة ٥ من خلال أحد نظامي إزالة الحرارة المتبقيين، وفُتحت صمامات أنابيب الربط المتصلة بنظام مياه التعويض المتكثفة بعد ٥٣ ساعة من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة. ومع ذلك لم يبدأ ضخ المياه نظراً لأن ضغط المفاعل ارتفع تدريجياً وتجاوز مستوى ضغط المضخة. واستجابة لذلك، فُتِح أحد صمامات التخفيف باستخدام التيار الكهربائي المستمر وإمدادات النتروجين. ونجح ذلك في تخفيض ضغط وعاء المفاعل وسمح بضخ المياه في مفاعل الوحدة ٥ في الساعة ٥:٣٠ من يوم ١٤ آذار/مارس واستمر ضخ المياه بعد ذلك.[٥٤]

توقف التبريد باستخدام مياه البحر في الوحدتين ١ و٣

في ظل استمرار ضخ مياه البحر في الوحدتين ١ و٣ من حفرة صمام المياه المرتجعة الخاصة بالوحدة ٣ حتى يوم الاثنين ١٤ آذار/مارس، انخفض مستوى المياه في الحفرة إلى حد أوجب إيقاف الضخ في الساعة ١:١٠ وبعد أن تم إنزال خرطوم المياه إلى عمق أكبر في الحفرة، تم الاحتفاظ برصيد الماء المتبقي في الحفرة لضخه في الوحدة ٣ واستؤنف ذلك بعد ساعتين. وأرجئ تبريد قلب مفاعل الوحدة ١ لحين إعادة تزويد الحفرة بالمياه.

وخلال الساعات التالية، تبيَّن أن ضغط الاحتواء في الوحدة ٣ أخذ في الازدياد واستمر مؤشر مستوى مياه المفاعل في الانخفاض. وتجاوز مستوى الماء في مفاعل الوحدة ٣ قراءة المقياس في الساعة ٦:٢٠ من يوم ١٤ آذار/مارس، واستدل المشغِّلون من ذلك على أن قلب المفاعل قد انكشف. وأمر مراقب الموقع بإجلاء جميع العاملين بسبب القلق من إمكانية حدوث انفجار هيدروجيني في الوحدة ٣، موقفاً بذلك أنشطة إعادة ملء الحفرة بالماء.

وبلغ ضغط الاحتواء في الوحدة ٣ أقصاه في الساعة ٧:٠٠، ولكنه انخفض قليلاً في الساعة ٧:٢٠ وظل بعد ذلك مستقراً تحت مستوى الضغط الأقصى المحدَّد في التصميم. وقرَّر مراقب الموقع بعد ذلك استئناف أعمال إنشاء خط لإعادة ملء حفرة صمام المياه المرتجعة من المحيط. وخلال الساعتين أو الساعات الأربع التالية، أعيد إنشاء خطوط ضخ مياه البحر في كل الوحدات، واستؤنفت أعمال إعادة تزويد الحفرة بالماء باستخدام عربتي إطفاء إضافيتين لضخ المياه من المحيط وباستخدام شاحنتين صهريجيتين وصلتا إلى الموقع من قوات الدفاع الذاتي اليابانية في الساعة ١٠:٢٦ لنقل المياه إلى الحفرة.

وبدأ الاستعداد لاستئناف ضخ مياه البحر في الوحدة ١ عندما تعيَّن إيقاف كل الأنشطة، بما فيها أنشطة ضخ مياه البحر الجارية في مفاعل الوحدة ٣، بسبب الانفجار الذي وقع في الوحدة ٣. وأدّى ذلك إلى إتلاف

---

[٥٤] بالإضافة إلى ذلك، تم توفير التيار الكهربائي المتردد لتشغيل نظام التحكم في ضغط مبنى المفاعل من المولد الاحتياطي الذي كان يعمل بالديزل في الوحدة ٦. وبعد ما يزيد قليلاً على يومين من انقطاع التيار الكهربائي، انخفض الضغط في مبنى المفاعل إلى ما دون الضغط الجوي وساعد ذلك على ضمان الاحتواء الثانوي.

خراطيم المياه وعربات الإطفاء التي كانت موجودة حول حفرة صمام المياه المرتجعة في الوحدة ٣، وتطلب ذلك إجلاء العاملين مؤقتاً من المناطق الخارجية.

الانفجار في مبنى مفاعل الوحدة ٣

في الساعة ١١:٠١ من يوم ١٤ آذار/مارس، وقع انفجار في الجزء العلوي من مبنى مفاعل الوحدة ٣ نجم عنه تدمير الهيكل الواقع فوق طابق الخدمات وإصابة العاملين. وبالإضافة إلى تدمير الترتيبات البديلة لضخ المياه، فُقدت أيضاً القدرة على تهوية الاحتواء في الوحدة ٢ بسبب الانفجار بعد أن أثر ذلك على مسار تهوية احتواء الوحدة ٢ الذي كان قد أنشئ من قبل. وبعد الانفجار، اكتشف أن صمام العزل في خط التهوية الخاص بالوحدة ٢ مغلق ولا يمكن فتحه مرة أخرى.

استئناف التبريد بمياه البحر في الوحدتين ١ و٣

بدأ العمل لإعادة إنشاء خط ضخ مياه البحر مباشرة من المحيط مرة أخرى بعد انقطاع لمدة ساعتين. وبعد استعادة خطوط الضخ، استؤنف ضخ مياه البحر أولاً في الوحدة ٣ بعد ظهر يوم ١٤ آذار/مارس ثم بعد ذلك في المساء بالنسبة للوحدة ١ وظلت قلوب المفاعلات بدون ضخ مياه التبريد لمدة ٥ ساعات في الوحدة ٣ ولمدة ١٨ ساعة في الوحدة ١.

توقف التبريد وضخ مياه البحر في الوحدة ٢

في حوالي الساعة ١٣:٠٠ من يوم ١٤ آذار/مارس، أصبحت الوحدة ٢ هي الوحدة التالية التي توقف فيها التبريد وكشفت القياسات عن أن مستوى مياه المفاعل قد انخفض وأن ضغط المفاعل قد ازداد. وأشار ذلك إلى إمكانية تعطل نظام تبريد عزل قلب مفاعل الوحدة ٢ حسب ما استدل عليه مشغلو الوحدة ومركز التصدي للطوارئ داخل الموقع. ونتيجة لذلك، ووفقاً للوائح المتصلة بقانون الطوارئ النووية [19]، صدر بلاغ بشأن 'توقف وظائف تبريد المفاعل' فيما يتعلق بالوحدة ٢.

وبعد تعطل نظام تبريد عزل قلب المفاعل، جرت محاولات لضخ مياه البحر من خلال نظام الوقاية من الحرائق في الساعة ١٣:٠٥، ولكن ضغط المفاعل كان مرتفعاً أكثر من اللازم بالنسبة لمضخات عربات الإطفاء. وبدى مرجحاً أن قلب المفاعل، بدون ضخ المياه، سينكشف بعد فترة وجيزة. ولذلك تقرَّر استخدام صمامات الأمان لتخفيف ضغط المفاعل من أجل التمكين من ضخ المياه تحت ضغط منخفض مع الاعتراف بالأثر المعاكس المحتمل على الاحتواء بسبب انطلاق البخار من المفاعل إلى الاحتواء[٥٥].

وبعد تخفيف ضغط وعاء المفاعل وتزويد عربات الإطفاء بالوقود، بدأ ضخ مياه البحر إلى الوحدة ٢ من خلال نظام الوقاية من الحرائق بعد فترة وجيزة قبل الساعة ٢٠:٠٠ من يوم ١٤ آذار/مارس باستخدام عربة إطفاء واحدة في البداية ثم استخدمت عربتان عقب ذلك بوقت قصير.

تدهور احتواء الوحدة ٢

في حوالي الساعة ٢١:٥٥ من يوم ١٤ آذار/مارس، أشارت معدات رصد الإشعاعات التي كانت أُصلحت مؤخراً داخل الاحتواء إلى أن مستويات الإشعاعات في احتواء الوحدة ٢ قد ارتفعت بدرجة كبيرة منذ إجراء

[٥٥] كان قسم حجرة الكبح في وعاء الاحتواء الرئيسي قد تشبَّع تقريباً بالفعل.

القياسات السابقة قبل ثماني ساعات[٥٦]. وكشف أيضاً كل من ضغط المفاعل وضغط الاحتواء عن اتجاه نحو الارتفاع بعد الساعة ٢٢:٣٠ من يوم ١٤ آذار/مارس. و تجاوز ضغط الاحتواء الضغط التصميمي في الساعة ٢٢:٥٠ وهو ما دفع إلى إصدار إعلان طارئ بشأن 'ارتفاع غير عادي في ضغط وعاء الاحتواء'، وفقاً للوائح المتصلة بقانون الطوارئ النووية [19] فيما يتعلق بالوحدة ٢. وأُبلغت هذه الحالة إلى السلطات الحكومية المختصة في الساعة ٢٣:٣٩. وخلال الساعات الثلاث أو الأربع التالية، فتح المزيد من صمامات تخفيف الضغط لتخفيض ضغط المفاعل من أجل السماح بضخ المياه إلى مفاعل الوحدة ٢. ونتيجة لذلك، واصل ضغط الاحتواء ارتفاعه بينما لم يتمكَّن فريق عمليات الوحدة المكلَّف بإنشاء خط تهوية لتخفيف ضغط الاحتواء من فتح صمامات التهوية. وسعياً إلى حماية وظيفة الاحتواء والسماح بالتهوية في أقرب وقت ممكن، وافق موظفو شركة تيبكو في مركزي التصدي للطوارئ داخل الموقع وخارجه على التهوية مباشرة من خلال البئر الجافة معترفين بأن من شأن ذلك أن يؤدي إلى زيادة انطلاق الانبعاثات المشعة إلى البيئة. ومع ذلك لم يكن ممكناً فتح الصمامات في فتحة تهوية البئر الجافة، تعذَّر بعد ذلك تحقيق التهوية في الوحدة ٢.

وفي الساعة ٤:١٧ من يوم الثلاثاء ١٥ آذار/مارس، أُخطرت الوكالات الحكومية ذات الصلة بأن تخفيف ضغط احتواء الوحدة ٢ وضغط المفاعل لم يكن فعالاً وبأن ضغط الاحتواء في تزايد مستمر.

الأحداث في الوحدتين ٢ و٤ التي أعقبها إجلاء الموقع

في الساعة ٦:١٤ من يوم ١٥ آذار/مارس، سُمع صوت انفجار في الموقع وشُعر بهزات في غرفة التحكم الرئيسية المشتركة بين الوحدتين ١ و٢. وتلى ذلك انخفاض في قراءة ضغط احتواء الوحدة ٢ (حجرة الكبح). وأبلغ الموظفون في غرفة التحكم الرئيسية في البداية مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع أن ضغط حجرة الكبح في الوحدة ٢ قد انخفض إلى مستوى قريب من مستوى الضغط الجوي[٥٧]، وكان ذلك مؤشراً على احتمال توقف الاحتواء.

وأشارت هذه المعلومات إلى إمكانية تعطل وعاء الاحتواء وإلى إمكانية حدوث انطلاق انبعاثات خارج عن السيطرة من الوحدة ٢. وبناء على ذلك، أصدر مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع أمراً إلى كل العاملين في كل الوحدات بالإجلاء مؤقتاً إلى المبنى المعزول زلزالياً حيث يقع مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع. وفي نفس الوقت تقريباً الذي وقع فيه الحدث المتصل بحجرة الكبح في الوحدة ٢، أبلغ العاملون القائمون بالإجلاء عن وقوع انفجار في الجزء العلوي من مبنى مفاعل الوحدة ٤.

وعقب الأحداث التي وقعت في الوحدتين ٢و ٤، أصدر مراقب الموقع تعليمات إلى جميع العاملين، باستثناء العاملين المطلوبين للرصد والتصدي للطوارئ، بالانتقال إلى مكان مأمون إشعاعياً. وفهم ما يقرب من ٦٥٠ شخصاً هذا الأمر على أنه إجلاء للموقع وقاموا بالإجلاء إلى موقع محطة فوكوشيما داييني للقوى النووية.

---

[٥٦] زيادة قدرها ٠٠٠ ٥ ضعف في مستويات الإشعاعات في الغلاف الجوي للاحتواء (من ١,٠٨ ملي سيفرت/ساعة إلى ٣٦٠ ٥ ملي سيفرت/ساعة) وزيادة قدرها ٤٠ ضعفاً في مستويات الإشعاعات في قسم حوض الكبح الخاص بالاحتواء (من ١٠,٣ ملي سيفرت/ساعة إلى ٣٨٣ ملي سيفرت/ساعة). وإضافة إلى ذلك، اكتشفت نيوترونات فيما بين الساعة ٢١:٠٠ من يوم ١٤ آذار/مارس والساعة ١:٤٠ من يوم ١٥ آذار/مارس مرة أخرى بالقرب من البوابة الرئيسية. واعتقدت شركة تيبكو أن النيوترونات نتجت عن انشطار تلقائي للأكتينات التي انطلقت في أعقاب تضرر قلب المفاعل في أحد المفاعلات الثلاثة.

[٥٧] تأكد بعد إعادة فحص القراءات أن ضغط حجرة الكبح تجاوز حدود قراءات المقياس ولكن ضغط القسم الخاص بالبئر الجافة لم ينخفض انخفاضاً كبيراً في الوحدة ٢.

وبقي ما يتراوح بين ٥٠ و ٧٠ موظفاً[٥٨]، بمن فيهم مراقب الموقع، في موقع فوكوشيما داييتشي. وأُبلغت الوكالات الحكومية ذات الصلة من مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع بالإجلاء في الساعة ٧:٠٠ من يوم ١٥ آذار/مارس.

وبعد نحو ساعتين، شوهد دخان أبيض (أو بخار) منطلقاً من مبنى مفاعل الوحدة ٢ بالقرب من الطابق الخامس. وأشارت القياسات المسجلة إلى أن معدل الجرعة الإشعاعية اقترب من ١٢ ملي سيفرت/ساعة عند البوابة الرئيسية في الساعة ٩:٠٠ من يوم ١٥ آذار/مارس، وهو أعلى قياس منذ بداية الحادث. وبالنظر إلى ارتفاع مستويات الإشعاعات، صدر أمر من السلطات الحكومية بعد ساعتين، أي في الساعة ١١:٠٠، إلى جميع السكان المقيمين داخل دائرة يتراوح نصف قطرها بين ٢٠ و ٣٠ كم من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بالاحتماء في أماكن مغلقة.

وأثناء هذا التتابع للأحداث، فُقدت وظائف أمان أساسية في الوحدات ١-٣ أو تدهورت بشدة (الشكل ٢-٥)، وانصبت الجهود على تقييم ما لحق بهذه الوظائف من أضرار، وإعادة تأهيلها، وتثبيتها.

٢-١-٣- جهود تحقيق الاستقرار

إعادة تغذية حوض الوقود المستهلك في الوحدتين ٣ و٤

وأُجري تفتيش بصري من بُعد باستخدام طائرة مروحية لمعالجة بواعث القلق بشأن حالة أحواض الوقود المستهلك في الوحدة ٣ بعد ظهر يوم الأربعاء ١٦ آذار/مارس. وأكد التفتيش وجود مياه كافية في حوض الوقود المستهلك في الوحدة ٤ لتغطية مُجمِعات الوقود؛ غير أن التفتيش لم يكن قاطعاً بالنسبة لحالة حوض الوقود المستهلك في الوحدة ٣، مما زاد من أولوية إعادة تغذيته.

وأجريت أول عملية إمداد بالمياه لحوض الوقود المستهلك في الوحدة ٣ فيما بين الساعة ٩:٣٠ والساعة ١٠:٠٠ من يوم ١٧ آذار/مارس، حينما وقع استخدام مروحيات لإنزال مياه البحر وتلى ذلك رش مياه عذبة باستخدام شاحنات مزودة بمدافع مياه في وقت لاحق من نفس اليوم فيما بين الساعة ١٩:٠٥ والساعة ٢٠:٠٧. ورُشَّت مياه البحر أو المياه العذبة على حوض الوقود المستهلك في الوحدة ٤ اعتباراً من يوم ٢٠ آذار/مارس[٥٩].

وتواصل رش مياه البحر والمياه العذبة على الحوض باستخدام الشاحنات المزودة بمدافع المياه وعربات الإطفاء أو المركبات المزودة بمضخات الخرسانة بصورة متقطعة في آذار/مارس ضماناً لعدم انكشاف الوقود المستهلك. كما تم استخدم نظام تبريد وتطهير حوض الوقود في نيسان/أبريل وخلال عدة أيام من شهر أيار/مايو ٢٠١١.

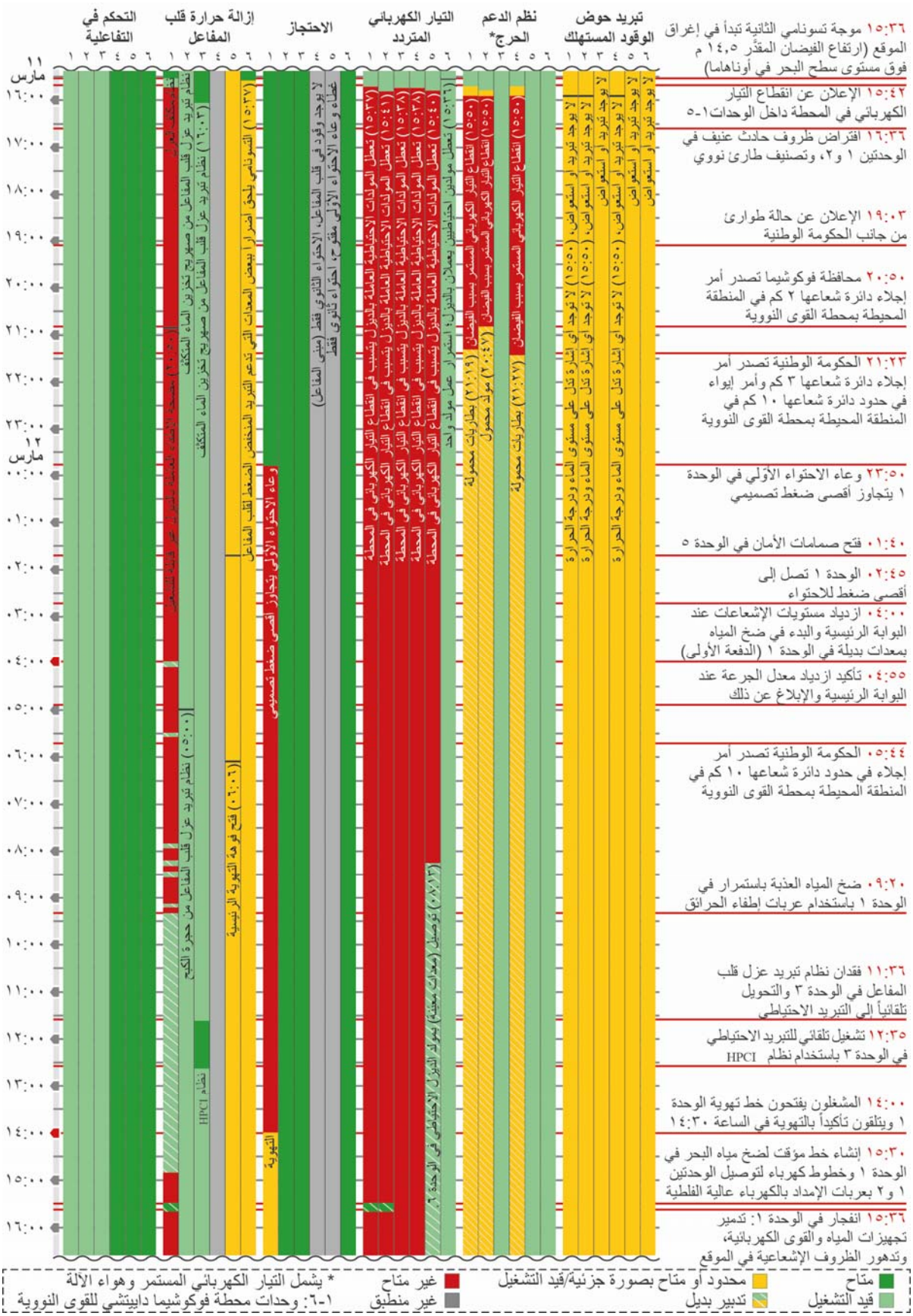
استعادة إمدادات القوى الكهربائية ونهاية انقطاع التيار الكهربائي في المحطة

أُجريت في الفترة من ١٧ إلى ٢٠ آذار/مارس أعمال مد كوابل قوى كهربائية مؤقتة إلى الوحدتين ١ و٢. وفي الساعة ١٥:٤٦ من يوم الأحد ٢٠ آذار/مارس، أي بالضبط تقريباً بعد تسعة أيام من انقطاع التيار الكهربائي في المحطة، استعيدت القوى الكهربائية خارج الموقع إلى الوحدتين ١ و٢ من خلال هذا النظام المؤقت للتيار المتردد الذي أنهى انقطاع التيار الكهربائي في الوحدتين ١و٢.

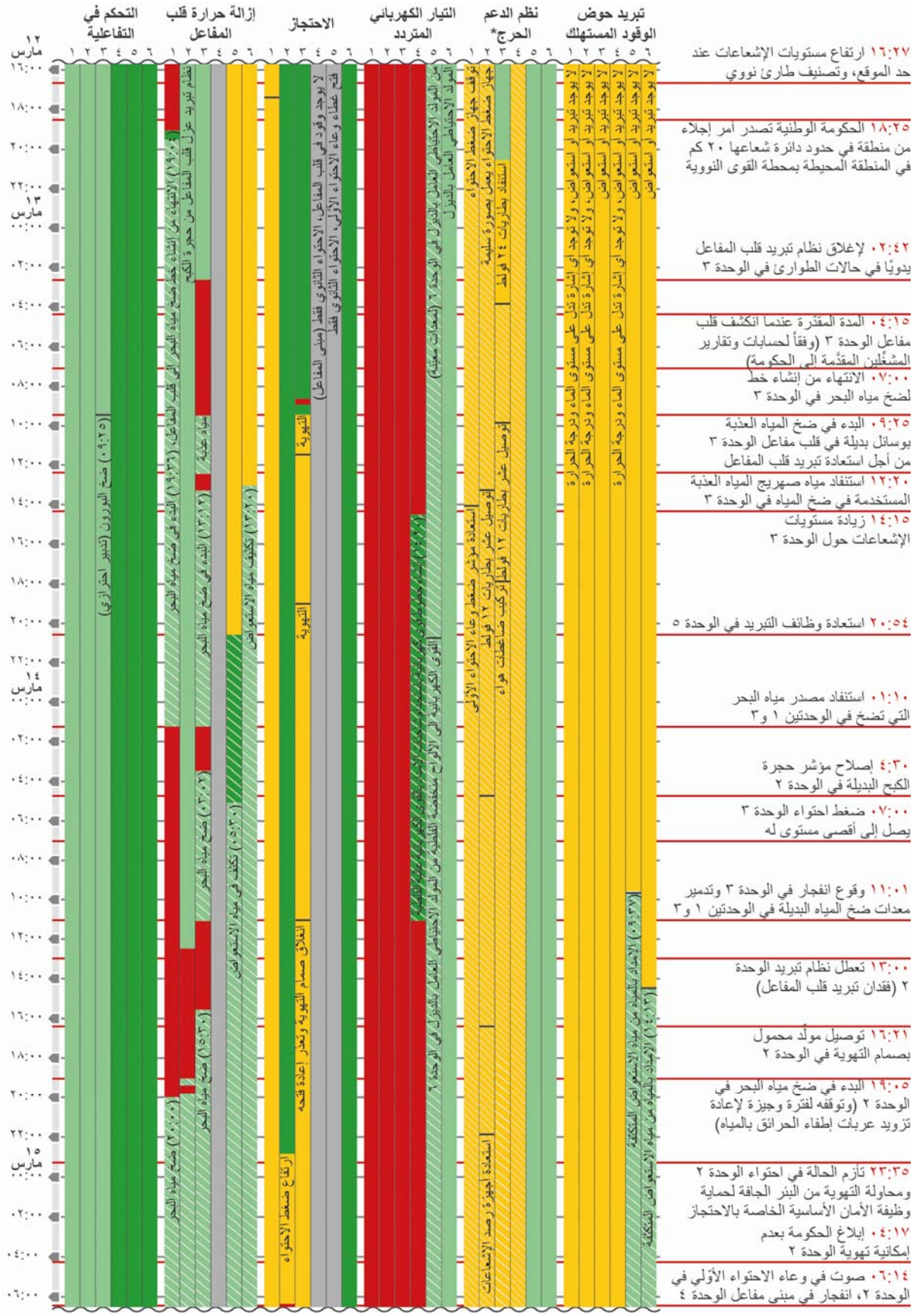
---

[٥٨] كما هو وارد في مختلف تقارير التحقيقات، فإنَّ العدد الدقيق للموظفين غير مؤكد [8 ,6]. وجدير بالذكر كذلك أنَّ الموظفين الذين تم إجلاؤهم إلى محطة فوكوشيما داييني للقوى النووية شرعوا في الرجوع إلى موقع محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية في نفس اليوم.

[٥٩] اتبع نفس النهج في إضافة الماء إلى حوض الوقود المستهلك في الوحدة ١. وبالنظر إلى أن مبنى مفاعل الوحدة ٢ كان لا يزال يغطي حوض الوقود المستهلك في الوحدة ٢، تعذر استخدام أسلوب الرش في هذه الوحدة.



الشكل ٢-٥: وظائف الأمان الأساسية والداعمة في التصدي للحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية (١١-١٥ آذار/مارس ٢٠١١).



الشكل ٢-٥- وظائف الأمان الأساسية والداعمة في التصدي للحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية (١١-٥ آذار/مارس ٢٠١١) (تابع).

وفي الوحدة ٦، أُعيدت القوى الكهربائية إلى نظام التبريد الخاص بالمولد الاحتياطي الثاني المبَّرد بالماء الذي كان يعمل بالديزل من خلال خط قوى موصول بالمولد العامل المبَّرد بالهواء. وبدأ المولد الاحتياطي المبرد بالماء الذي كان يعمل بالديزل في العمل مرة أخرى في الساعة ٤:٢٢ من يوم ١٩ آذار/مارس وزود الوحدتين ٥ و٦ بالتيار الكهربائي المتردد.

وانتهت حالة انقطاع التيار الكهربائي في الوحدتين ٣ و٤ بعد أكثر من ١٤ يوم عندما أُعيدت القوى الكهربائية المؤقتة خارج الموقع إلى هاتين الوحدتين في ٢٦ آذار/مارس.

تحقيق ظروف مستقرة

كانت الوحدة ٥ أول وحدة تصل إلى حالة الإغلاق البارد عندما جرى تشغيل نظامها العادي الخاص بإزالة الحرارة المتبقية في الساعة ١٢:٢٥ من يوم ٢٠ آذار/مارس. وانخفضت درجة حرارة المفاعل إلى أقل من ١٠٠ درجة مئوية في نحو ساعتين لتدخل الوحدة ٥ في حالة الإغلاق البارد في الساعة ١٤:٣٠ من يوم ٢٠ آذار/مارس ٢٠١١، أي بعد ما يقرب من تسعة أيام من بداية الحادث.

وأعيد تشغيل النظام العادي الخاص بإزالة الحرارة المتبقية في الوحدة ٦ بأسلوب مماثل للأسلوب الذي اتُبع في الوحدة ٥ في الساعة ١٨:٤٨ من نفس اليوم. وانخفضت درجة حرارة المفاعل إلى أقل من ١٠٠ درجة مئوية في أقل من ساعة واحدة، لتدخل الوحدة ٦ حالة الإغلاق البارد في الساعة ١٩:٢٧ من يوم ٢٠ آذار/مارس (الشكل ٢-٦).

الشكل ٢-٦: استعادة وظائف الأمان الأساسية مؤقتاً في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية.

وفيما يتعلق بالوحدات ١-٣، أصدرت شركة تيبكو خطة عمل يوم ١٧ نيسان/أبريل ٢٠١١، وهي خارطة الطريق نحو ترميم الأضرار الناجمة عن الحادث الذي تعرضت له محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية التابعة لشركة تيبكو [24]. وشملت خارطة الطريق اتخاذ تدابير من أجل إنشاء نظام مستقر لتبريد المفاعلات والوقود المستهلك؛ والحد من انطلاق مواد مشعة ورصدها؛ والتحكم في تراكم الهيدروجين؛ ومنع العودة إلى الحرجية. ونُفذت تلك الإجراءات في الأشهر التسعة التالية للحادث.

وحددت خارطة الطريق شرطين لتحديد نهاية حالة الحادث، أو "حالة الإغلاق البارد"[٦٠]: تحقيق كبح ملموس للانبعاثات الإشعاعية وانخفاض معدلات الجرعات الإشعاعية باطراد؛ وتحقيق القيّم المستهدفة لبارامترات المحطات المعيّنة على النحو المحدد في خارطة الطريق. وأعلنت حكومة اليابان وشركة تيبكو في ١٩ تموز/يوليه أن أول شرط قد تحقق في الوحدات ١-٣، وفي ١٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١ أن الشرط الثاني قد تحقق هذه الوحدات. وأنهى هذا الإعلان رسمياً[٦١] مرحلة أحداث 'الحادث' في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية.

ومع ذلك استمرت بعض الأوضاع غير المستقرة في المحطة مثل التقلبات في درجات الحرارة التي فُسرت بأنها ناجمة عن تعطل الأجهزة، أو التقلبات في قياس النواتج الانشطارية. وتحقق المزيد من البارامترات المستقرة في المحطة فيما بين آذار/مارس ونيسان/أبريل ٢٠١٢ بينما تواصلت جهود التصدي في مرحلة ما بعد الحادث. وإضافة إلى ذلك، ظل التصرف في النفايات يواجه تحديات، مثل صعوبة التعامل مع تراكم المياه المشعة بسبب تسرب المياه الجوفية داخل المباني واستمرار تعطل المعدات في بعض الأحيان. واعتبرت حكومة اليابان وقت كتابة هذا التقرير محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية "موقعاً محدداً كموقع حادث"[٦٢].

٢-٢- اعتبارات الأمان النووي

٢-٢-١- تعرض المحطة للأحداث الخارجية

تسبب الزلزال الذي وقع في ١١ آذار/مارس ٢٠١١ في حدوث حركة أرضية ارتجاجية أدت إلى اهتزاز هياكل المحطة ونظمها ومكوناتها. وتبعت ذلك سلسلة من أمواج التسونامي أغرقت إحداها الموقع. وتجاوزت الحركات الأرضية وارتفاعات أمواج التسونامي المسجلة بكثير افتراضات المخاطر التي وضعت في التصميم الأصلي للمحطة. وأثَّر الزلزال والتسونامي المرتبط به في وحدات عديدة في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية.

وقيم الخطر الزلزالي وأمواج التسونامي التي أخذت بعين الاعتبار في التصميم الأساسي أساساً بالاستناد إلى السجلات الزلزالية التاريخية والأدلة التي تثبت أمواج التسونامي التي وقعت مؤخراً في اليابان. ولم يأخذ هذا التقييم الأصلي في الاعتبار بصورة كافية المعايير التكتونية الجيولوجية ولم تجر أي إعادة تقييم باستخدام تلك المعايير.

---

[٦٠] عرَّفت حكومة اليابان مصطلح 'حالة الإغلاق البارد' آنذاك تحديداً لمفاعلات فوكوشيما داييتشي. ويختلف ذلك عن المصطلحات المستخدمة في الوكالة وفي غيرها.

[٦١] وفقاً للمعايير التي حددتها حكومة اليابان آنذاك.

[٦٢] وفقاً لتعريف "مرفق نووي محدد"، أي المرفق الذي يتطلب تدابير خاصة للأمان أو حماية مادية لمواد نووية محددة، الذي وضعته الهيئة الرقابية الحالية، وهي الهيئة الرقابية النووية، في ٧ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٢.

وقبل وقوع الزلزال، صنف خندق اليابان بأنه منطقة اندساسية تتكرر فيها زلازل بقوة ٨ درجات. ولم يعتبر العلماء اليابانيون وقوع زلزال بقوة ٩,٠ درجات قبالة ساحل محافظة فوكوشيما أمراً ممكنًا. ومع ذلك فقد سجلت زلازل بقوة مماثلة أو أعلى في مناطق مختلفة في بيئات تكتونية مماثلة في العقود القليلة الأخيرة.

ولم تكن هناك أي مؤشرات تدل على تأثر سمات الأمان الرئيسية في المحطة جراء الحركات الأرضية الارتجاجية التي نتجت عن الزلزال في ١١ آذار/مارس ٢٠١١. وكان ذلك راجعاً إلى النهج المحافظ إزاء الزلازل المتوخى في تصميم محطات القوى النووية وتشييدها في اليابان وهو ما أفضى إلى محطة توفرت لها هوامش كافية من الأمان. غير أن الاعتبارات التصميمية الأصلية لم توفر هوامش أمان مماثلة لأحداث الفيضانات الخارجية العنيفة، مثل أمواج التسونامي.

ولم تتم إعادة تقييم تعرض محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية للمخاطر الخارجية بطريقة منهجية وشاملة خلال عمرها التشغيلي. ولم تكن هناك وقت وقوع الحادث أي متطلبات رقابية في اليابان بشأن عمليات إعادة التقييم المذكورة، ولم تراع على النحو الكافي في اللوائح والخطوط التوجيهية القائمة الخبرة التشغيلية المحلية والدولية ذات الصلة. وكانت المبادئ التوجيهية الرقابية في اليابان المتعلقة بأساليب التعامل مع تأثيرات الأحداث المتصلة بالزلازل، مثل أمواج التسونامي، عامة وموجزة ولم توفر معايير محددة أو إرشادات مفصلة.

وقبل وقوع الحادث، أجرى المشغِّل بعض عمليات إعادة تقييم مستويات فيضانات تسونامي العنيفة باستخدام منهجية توافقية طورت في اليابان في عام ٢٠٠٢ وأسفرت عن قيم أعلى من القيم الأصلية المحتاط لها في التصميم. واتخذت بعض التدابير التعويضية على أساس النتائج، ولكنها أثبتت عدم كفايتها وقت وقوع الحادث.

وبالإضافة إلى ذلك، أجرى المشغِّل قبل الحادث عدة حسابات تجريبية باستخدام نماذج أو منهجيات مصادر الأمواج تجاوزت المنهجية التوافقية. وهكذا توقع الحساب التجريبي باستخدام نموذج المصدر الذي اقترحه مقر تعزيز بحوث الزلازل الياباني في عام ٢٠٠٢ الذي استخدم آخر المعلومات واتخذ نهجاً مختلفاً في سيناريوهاته، تسونامي أكبر كثيراً من التسونامي المحتاط له في التصميم الأصلي وفي التقديرات التي أجريت في عمليات إعادة التقييم السابقة. ووقت وقوع الحادث، كانت هنالك تقييمات أخرى قيد الإجراء، ولكن لم تنفذ في غضون ذلك أي تدابير تعويضية إضافية. وكانت القيم المقدرة مماثلة لمستويات الفيضان المسجلة في آذار/مارس ٢٠١١.

وأبرزت التجربة التشغيلية على الصعيد العالمي حالات تجاوزت فيها المخاطر الطبيعية الأساس التصميمي الأصلي لمحطة قوى نووية. وعلى وجه الخصوص، برهنت الخبرات المستقاة من بعض هذه الأحداث على ضعف نظم الأمان إزاء الفيضانات.

الإطار ٢-٤- أمواج التسونامي [25]

التسونامي باللغة اليابانية يعني موجة ('نامي') في ميناء ('تسو')، وهو سلسلة من الأمواج المرتحلة ذات الأطوال الموجية الطويلة (تتراوح على سبيل المثال بين بضعة كيلومترات ومئات الكيلومترات) وفترات زمنية طويلة (تتراوح على سبيل المثال بين عدة دقائق وعشرات الدقائق وتصل في الحالات الاستثنائية إلى ساعات) تتولد عن تشوهات أو اضطرابات في قاع البحر (أو بعبارة عامة، القاع الواقع تحت الماء). ويمكن للزلازل، والظواهر البركانية، والانهيالات تحت المائية والساحلية، وتساقط الصخور والانهيارات الجرفية أن يولد أمواج التسونامي. ويمكن أن تحدث أمواج التسونامي في جميع المناطق المحيطية وأحواض البحار في العالم، بل وحتى الخلجان البحرية والبحيرات الكبيرة.

وتنتشر أمواج التسونامي إلى الخارج من المنطقة التي تتولد منها في كل الاتجاهات ويتحدد الاتجاه الرئيسي لانتشار الطاقة حسب أبعاد واتجاه المصدر الذي يتولد عنه التسونامي. وتندفع أمواج التسونامي أثناء انتشارها في المياه العميقة كأمواج جاذبية عادية، وتتوقف السرعة على عمق المياه. من ذلك على سبيل المثال أن السرعة في أعماق المحيط يمكن أن تتجاوز ٨٠٠ كم في الساعة ويقل ارتفاع الموجة عموماً عن بضع عشرات من السنتيمترات، وفي حالة المصدر الزلزالي، يتجاوز طول الموجة في كثير من الأحيان ١٠٠ كم. وأثناء الانتشار، تؤثر التضاريس البحرية التحتية على سرعة وارتفاع موجة التسونامي. ومن العوامل الهامة المؤثرة على انتشار أمواج التسونامي في أعماق المياه عوامل الانكسار، والانعكاس من جبل بحري أو سلسلته (أرخبيل)، والانحراف.

وتصبح أمواج التسونامي أكثر حدة وتزداد ارتفاعاً عند اقترابها من مياه ضحلة نظراً لتناقص سرعة الموجة وطولها بانخفاض العمق. وفي منطقة ساحلية، يمكن للتضاريس المحلية والأعماق البحرية، مثل شبه الجزر أو الأخاديد البحرية المغمورة أن تسبب زيادة إضافية في ارتفاع الأمواج الذي يمكن أن يتضخم أيضاً بسبب وجود خليج أو مصب مائي أو بحيرات قمعية بينما تقترب أمواج التسونامي من اليابسة. ويمكن أن تحدث أيضا عدة أمواج كبيرة؛ وربما لا تكون الموجة الأولى هي الأكبر. كما يمكن أيضا حدوث تراجع في مياه البحر قبل وصول الموجة الأولى وبين الفيضانات المتتالية. ويمكن للتسونامي أن يسبب غرقاً داخلياً لأن طوله الموجي يكون طويلاً بحيث تلي مقدمة الموجة كتلة مائية ضخمة. ويمكن أن يكون لهذا الأمر تأثير مدمر.

وتطلبت معايير الأمان الصادرة عن الوكالة التي كانت سارية في وقت الحادث أن تحدد قبل تشييد محطة للقوى النووية الأخطار الخارجية الخاصة بالموقع، مثل الزلازل وأمواج التسونامي، ويتعين تقييم آثار تلك المخاطر على محطة القوى النووية كجزء من التوصيف الشامل والكامل لخصائص الموقع [26]. ويتعين تحديد أسس مناسبة للتصميم من أجل توفير هوامش أمان كافية طوال العمر التشغيلي لمحطة القوى النووية [27]. ويتعين أن تكون هذه الهوامش كبيرة بما يكفي لمعالجة المستويات الكبيرة من عدم التيقن المرتبط بتقييم الأحداث الخارجية. كما يتعين إعادة تقييم المخاطر المتصلة بالموقع دورياً من أجل تحديد أي حاجة إلى تغيير نتيجة لما يستجد من معلومات ومعارف أثناء عمر المحطة [26].

ومن الممارسات الدولية التي شاعت في ستينات وسبعينات القرن الماضي استخدام السجلات التاريخية عند تطبيق أساليب تقدير المخاطر الزلزالية وما يصاحبها من مخاطر (مثل موجات التسونامي). وشملت هذه الممارسة الشائعة زيادة هوامش أمان عن طريق زيادة أقصى شدة أو قوة زلزالية مسجلة على مر التاريخ في منطقة الموقع، وعن طريق افتراض وقوع ذلك الحدث على أقرب مسافة من الموقع [28]. وكان الغرض من ذلك هو مراعاة أوجه عدم التيقن في الملاحظات المتعلقة بدرجات الشدة أو الحجم، وللتعويض عن احتمالات عدم تحقيق القيم القصوى المحتملة في فترة الملاحظة القصيرة نسبياً عندما تتطلب في العادة فترة الملاحظة إدراج بيانات غير مسجلة للحصول على تقديرات قوية لتقييم المخاطر. ومع ذلك فقد أجري تقييم المخاطر الزلزالية لتصميم الوحدتين ١ و٢ في موقع فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بالاستناد أساساً إلى البيانات الزلزالية التاريخية دون زيادة هوامش الأمان على النحو المبين أعلاه. وأثناء عملية الحصول على تصاريح التشييد للوحدات اللاحقة، طبقت منهجية جديدة استخدمت فيها مجموعة من المعلومات الزلزالية التاريخية وأبعاد العيوب الجيومورفولوجية [16, 29].

واستمدت المعلومات المتعلقة بالعيوب 'البرية الداخلية' من مصادر رسمية وكذلك من دراسات استقصائية محددة أجراها المشغل، وبارامترات متحفظة افترضت في التحليل للتنبؤ بقوة الزلازل المحتملة. وبالنسبة إلى خندق اليابان، أشارت التقديرات الأصلية إلى إمكانية وقوع زلزال بقوة ٨ درجات باعتباره أقصى حدث من دون '١' مبررات تكتونية كافية، و'٢' استخدام متناظرات عالمية وبالاستناد إلى حد بعيد إلى البيانات التاريخية المشاهدة.

وكانت قد وقعت في منطقة 'حلقة النار' من المحيط الهادئ زلازل ضخمة (بقوة ٩ درجات) مثل ذانك الذين وقعا في شيلي في عام ١٩٦٠ وفي ألاسكا في عام ١٩٦٤ بعد فترة وجيزة من الترخيص لبناء الوحدة ١ في فوكوشيما دايتشي. ولم تفض هذه الزلازل إلى توافق في الآراء بين علماء الزلازل اليابانيين حول إمكانية وقوع أحداث من ذلك القبيل بالقرب من شواطئ اليابان في بيئة تكتونية مماثلة للبيئات التكتونية التي نتجت عنها زلازل في مناطق أخرى من الصفيحة التكتونية للمحيط الهادئ.

وفي التقييم الأصلي لمخاطر الفيضانات الخارجية المستخدم في 'تصريح الإنشاء' الخاص بالمحطة، طبَّق مصممو المحطة المنهجية والمعايير التي كانت سائدة في اليابان آنذاك والتي استندت إلى دراسة وتفسير السجلات التاريخية للزلازل وأمواج التسونامي. وكان التسونامي البعيد الذي وقع في أعقاب واحد من أكبر الزلازل المعروفة في العالم، أي زلزال شيلي في عام ١٩٦٠، هو الحدث المستخدم لأغراض التصميم ضد الفيضانات الخارجية. وأدى هذا الحدث إلى ارتفاع في أمواج التسونامي لوحظ في ميناء أوناهاما في محافظة فوكوشيما على ارتفاع ٣,١ م فوق مستوى سطح البحر.

وفيما يتعلق بمصادر التسونامي الواقعة في خندق اليابان قبالة الساحل الشرقي، لم تكن هناك سجلات تاريخية لمستويات فيضانات التسونامي في مكان موقع فوكوشيما دايتشي فضلاً عن عدم وجود أدلة على وقوع زلازل في المنطقة البحرية المقابلة للموقع. وأيد عدم توافر بيانات عن وجود مصادر قريبة لأمواج التسونامي الحد الأقصى المعتمد لمستوى الفيضانات، وهو ٣,١ م لأغراض التصميم. ولم تأخذ شركة تيبكو في الاعتبار الزلازل الضخمة التي وقعت في أماكن أخرى، ولم تفترضهما مصدراً محلياً لأمواج التسونامي في خندق اليابان.

وبالرغم من عدم وجود متطلبات رقابية في اليابان بشأن إجراء عملية إعادة تقييم للمخاطر الزلزالية ومخاطر التسونامي، أجرت شركة تيبكو العديد من عمليات إعادة التقييم خلال العمر التشغيلي لمحطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية [30]. وقامت شركة تيبكو والمنظمات المشغلة الأخرى في اليابان بإعادة تقييم مستويات الفيضان باستخدام منهجية طورتها الجمعية اليابانية للمهندسين المدنيين ونُشرت في عام ٢٠٠٢ [31]. واستخدمت هذه المنهجية نموذج مصدر معياري لأمواج التسونامي القريبة أو المحلية بالاستناد إلى البيانات التاريخية ولم يفترض في هذا النموذج وقوع أي زلزال مسبباً تسونامي على طول شاطئ خندق اليابان قبالة موقع فوكوشيما دايتشي. واستخدم افتراض نموذج المصدر المعياري على النحو المبين أعلاه، في كل التقييمات التي أجريت باستخدام هذه المنهجية.

وتطلبت المبادئ التوجيهية للجنة الأمان النووي اليابانية لعام ٢٠٠٦ [32] النظر في الزلازل التي تقع بين صفيحتين تكتونيتين وكذلك في الزلازل التي تقع في القشرة الأرضية الداخلية. واستُخدمت هذه المبادئ التوجيهية بشأن الأمان الزلزالي والأحداث ذات الصلة من أجل تقييم المخاطر الزلزالية، ولكن المبادئ التوجيهية المتعلقة بمخاطر التسونامي لم تشمل سوى بيانات عامة ومقتضبة ولم تقدِّم متطلبات أو معايير أو منهجيات محددة. وصنفت شركة تيبكو هذه الزلازل على أنها بقوة ٨ درجات وذلك أثناء 'استكمال فحص' الأمان الزلزالي بناء على طلب وكالة الأمان النووي والصناعي. غير أنه بسبب بُعد الموقع عن الزلازل

المتعددة الصفائح التكتونية، وفَّر النهج قيم مخاطر أصغر مرتبطة بهذا الهيكل التكتوني مقارنة بالمصادر الزلزالية الداخلية. وبالتالي لم يؤخذ في الاعتبار أثرها في مخاطر حدوث حركة أرضية. وفي وقت وقوع الحادث، لم تكن شركة تيبكو قد استكملت إعادة تقييم ضعف المحطة أمام الزلازل والتسونامي.

وفي عام ٢٠٠٩، قدَّرت شركة تيبكو أن أقصى ارتفاع لأمواج التسونامي هو ٦,١ م باستخدام آخر قياسات الأعماق البحرية والبيانات المتعلقة بالمد والجزر. ونتيجة لهذه التقديرات الجديدة، أجريت بعض التغييرات في تصميم محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، لا سيما رفع مستوى محركات المضخات المستخدمة لإزالة الحرارة المتبقية. وثبت أثناء الحادث أن هذا التدبير وحده غير كافٍ. ولم تنفذ أي تدابير أخرى بشأن الأمان من أجل تعزيز الوقاية من الفيضانات، مثل اتخاذ تدابير لتجنب إغراق المولدات الاحتياطية التي تعمل بالديزل.

وبالإضافة إلى عمليات إعادة التقييم باستخدام منهجية الجمعية اليابانية للمهندسين المدنيين، أجرت شركة تيبكو حسابات تجريبية لمستويات فيضان مياه التسونامي قبل وقوع الحادث. واستخدم أحد هذه الحسابات التجريبية [30] نموذج المصدر الذي اقترحه مقر تعزيز بحوث الزلازل الذي استخدم آخر المعلومات ونظر في سيناريوهات شتى [30, 33]. وتناول هذا النهج إمكانية حدوث أمواج تسونامي بسبب خندق اليابان قبالة ساحل محافظة فوكوشيما. ولم يعتمد النهج فقط على سجلات تسونامي التاريخية الخاصة بهذا الجزء من منطقة الاندساس التكتوني.

وافترض النهج الجديد الذي طبق في الفترة من عام ٢٠٠٧ حتى ٢٠٠٩ وقوع زلزال قوته ٨,٣ قبالة ساحل فوكوشيما. ويمكن لزلزال بهذه القوة أن يفضي إلى أمواج التسونامي يبلغ ارتفاعها نحو ١٥ م في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية (على غرار ارتفاع التسونامي الفعلي الذي وقع في ١١ آذار/مارس ٢٠١١) وهو ما من شأنه أن يغرق المباني الرئيسة. وعلى أساس هذا التحليل الجديد، رأت شركة تيبكو ووكالة الأمان النووي والصناعي وغيرهما من المنظمات في اليابان ضرورة إجراء المزيد من الدراسة والتقصي. وطلبت شركة تيبكو والمرافق الكهربائية الأخرى من الجمعية اليابانية للمهندسين المدنيين مراجعة مدى ملاءمة نماذج مصادر التسونامي؛ وكانت هذه الجهود جارية في آذار/مارس ٢٠١١.

ولم تتخذ شركة تيبكو تدابير تعويضية مؤقتة استجابة للزيادة التي طرأت على تقديرات ارتفاع أمواج التسونامي كما لم تطلب وكالة الأمان النووي والصناعي من شركة تيبكو أن تتصرف فوراً بشأن هذه النتائج [30].

وبالرغم من الصعوبات وحالات عدم التيقن في تقييم المخاطر الزلزالية، أثبتت الأحداث التي وقعت في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية متانة محطات القوى النووية اليابانية بالنسبة للحركات الارتجاجية الأرضية. وفي ١١ آذار/مارس ٢٠١١، بلغت التسارعات القصوى المسجلة عند حصيرة قاعدة مباني المفاعلات في الوحدات ١-٥ في فوكوشيما داييتشي مستويات أكبر كثيراً مما كان مقدراً في التصميم الأصلي للمحطة. غير أنه لم تكن هناك أي مؤشرات تدل على أن الحركة الأرضية قد ألحقت أضراراً ملحوظة في هياكل الأمان أو نظمه أو مكوناته [34]. ولكنه تبيَّن أنَّ الإجراءات الدفاعية ضد الفيضانات التي تسبَّب فيها التسونامي هي إجراءات غير كافية لمواجهة ارتفاعات أمواج التسونامي التي كانت أكبر بكثير من تلك التي استُخدمت في تصميم محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. ولم تتم في تصميم محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية مراعاة سيناريو ينطوي على مخاطر طبيعية عنيفة تحدث في وقت واحد وتؤثر في وحدات متعددة. وتعرقل توفير الموارد في الوقت المناسب لتنفيذ إجراءات تصد للحوادث العنيفة في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بسبب الاختلالات خارج الموقع على المستوى الإقليمي الراجعة إلى الأضرار الواسعة النطاق التي ألحقها الزلزال والتسونامي بالبنية الأساسية.

وتكشف الخبرة التشغيلية المتاحة من محطات القوى النووية في اليابان ومن غيرها من الأماكن في السنوات ١٢ السابقة على الحادث عن إمكانية وقوع عواقب شديدة جراء الفيضانات. وشملت الخبرة التشغيلية ذات الصلة ما يلي: هبوب عاصفة قوية تسببت في حدوث فيضانات في مفاعلين في محطة لوبلاي للقوى النووية في فرنسا في عام ١٩٩٩؛ وتسونامي المحيط الهندي في عام ٢٠٠٤ الذي أغرق مضخات مياه البحر في محطة مدراس للقوى الذرية في الهند؛ وزلزال نيغاتا-تشوتسو-أوكي في اليابان في عام ٢٠٠٧. وأثر هذا الزلزال الأخير على محطة كاشيوازاكي-كاريوا للقوى النووية مسبباً فيضانات أغرقت مبنى مفاعل الوحدة ١ بسبب تعطل أنابيب الإطفاء الخارجية الجوفية [38–35]

٢-٢-٢- تطبيق مفهوم الدفاع في العمق

الدفاع في العمق مفهوم طُبِّق لضمان أمان المنشآت النووية منذ بداية تطوير القوى النووية. والهدف من الدفاع في العمق هو التعويض عن الإخفاقات البشرية وإخفاقات المعدات المحتملة عن طريق عدة مستويات من الوقاية. ويقدم الدفاع من خلال وسائل متعددة ومستقلة في كل مستوى من مستويات الوقاية.

وأتاح تصميم محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية بالنسبة إلى أول ثلاثة مستويات من الدفاع في العمق ما يلي من معدات ونظم: (١) معدات يقصد بها توفير تشغيل عادي موثوق؛ (٢) معدات يقصد بها إعادة المحطة إلى حالة مأمونة في أعقاب حدث غير عادي (٣) نظم أمان يقصد بها التصدي لظروف الحوادث. وتم استخلاص قواعد التصميم باستخدام طائفة من المخاطر المفترضة؛ غير أن الأخطار الخارجية مثل أمواج التسونامي لم تعالج على الوجه الأكمل. وبالتالي، شكلت الفيضانات الناتجة عن أمواج التسونامي في وقت واحد تحديا بالنسبة للمستويات الوقائية الثلاثة الأولى من الدفاع في العمق، مما أسفر عن إلحاق أعطال مشتركة السبب بالمعدات والنظم في كل مستوى من المستويات الثلاثة.

وأفضت الأعطال المشتركة السبب التي لحقت بنظم الأمان المتعددة عن ظروف في المحطة لم تكن متوقعة في التصميم. وبالتالي، فإن وسائل الوقاية المقصود منها توفير المستوى الرابع من الدفاع في العمق، وهو منع تطور الحوادث العنيفة والتخفيف من عواقبها، لم تكن متاحة لإصلاح نظام تبريد المفاعل والحفاظ على سلامة الاحتواء. وأدى الانقطاع الكامل للقوى، والافتقار إلى معلومات بشأن بارامترات الأمان ذات الصلة بسبب عدم توافر الأجهزة الضرورية، وتوقف أجهزة التحكم، وعدم كفاية إجراءات التشغيل إلى الحيلولة دون وقف تطور الحادث والحد من عواقبه.

أدى تعطل توفير وسائل وقاية كافية في كل مستوى من مستويات الدفاع في العمق إلى إصابة المفاعلات في الوحدات ١ و٢ و٣ بأضرار شديدة وإلى انطلاق كميات كبيرة من المواد المشعة من هذه الوحدات.

وتسبب الزلزال الذي وقع في ١١ آذار/مارس ٢٠١١ في أضرار كبيرة بالبنية الأساسية في المنطقة، بما في ذلك فقدان التوصيلات القادمة من شبكة القوى الكهربائية خارج الموقع إلى محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية. وأدى ذلك إلى حيود عن التشغيل العادي للمحطة (المستوى الأول للدفاع في العمق). وعقب الزلزال، نجحت جهود الإمداد بالقوى الكهربائية من مصادر داخل الموقع، واستمرت جميع نظم الأمان في المستوى الثالث للدفاع في العمق في العمل حسب ما هو محتاط في التصميم. وأشار ذلك إلى أن نظم الأمان ومعداته صمدت في وجه الخطر الزلزالي [8].

وأنشئت المحطة بالقرب من مستوى سطح البحر ولم تكن الوقاية من مخاطر الفيضانات كافية، حيث لم تقدر مخاطر الفيضانات على نحو ملائم [27]. ولم تتم حماية معدات الأمان الرئيسية عن طريق وضعها

في مقصورات مانعة للتسرب أو على ارتفاعات أعلى لتوفير الوقاية لها من الفيضانات. وأدى ذلك إلى فقدان الترتيبات لإزالة الحرارة المتبقية وتبريد الاحتواء في مستويات الدفاع في العمق ١ و٢ و٣.

الإطار ٢-٥- مفهوم الدفاع في العمق المنطبق وقت وقوع الحادث [27]

يضمن مفهوم الدفاع في العمق على النحو المطبق على أنشطة الأمان التنظيمية أو السلوكية أو المرتبطة بالتصميم، خضوع تلك الأنشطة لترتيبات متداخلة، بحيث إذا حدث عطل، فإنه يُكتشف ويُعوّض أو يُصحح عن طريق اتخاذ التدابير المناسبة. وأدخلت تفاصيل أخرى على هذا المفهوم في عام ١٩٨٨ [39, 40]. ويتيح تطبيق مفهوم الدفاع في العمق أثناء التصميم والتشغيل وقاية متدرجة ضد مجموعة واسعة من التغيرات العابرة، والوقائع التشغيلية المنتظرة والحوادث، بما فيها تلك الناتجة من أعطال المعدات أو عن التصرفات البشرية داخل المنشأة والأحداث التي تنشأ خارج المنشأة.

ويوفر تطبيق مفهوم الدفاع في العمق عند تصميم المنشأة سلسلة من المستويات الدفاعية (سمات متأصلة، ومعدات، وإجراءات) ترمي إلى منع وقوع الحوادث وكفالة حماية ملائمة في حالة فشل الوقاية.

١) والهدف من المستوى الدفاعي الأول هو منع حالات الحيود عن التشغيل العادي ومنع تعطل النظم. ويقتضي ذلك تصميم المنشأة وتشييدها وصيانتها وتشغيلها على نحو سليم ومتحفظ، وفقاً لمستويات جودة وممارسات هندسية ملائمة، مثل تطبيق مفاهيم الاستحاطة والاستقلال والتنوع. ويقتضي بلوغ هذا الهدف عناية شديدة في اختيار ما يلزم التصميم من شفرات ومواد ملائمة، ولمراقبة صنع المكونات وتشييد المنشأة. ومما يسهم في تحقيق هذا المستوى من الدفاع خيارات التصميم التي يمكن أن تقلل من احتمالات المخاطر الداخلية (مثل مراقبة التصدي لحدث بادئ افتراضي)، أو التقليل من العواقب الناجمة عن حدث بادئ افتراضي معين، أو التقليل من حد الإفلات المرجح عقب سلسلة من الحوادث. ويولى الانتباه أيضاً للإجراءات التي التصميم والتصنيع والتشييد والتفتيش على المحطة في أثناء الخدمة، والصيانة والاختبار، وسهولة الوصول إلى هذه الأنشطة، والطريقة التي تشغل بها المحطة وكيفية الاستفادة من الخبرة التشغيلية. وهذه العملية برمتها يدعمها تحليل مفصل يحدد متطلبات تشغيل المنشأة ومتطلبات صيانتها.

٢) والهدف من المستوى الدفاعي الثاني هو كشف ومكافحة الحيود عن الحالات التشغيلية العادية من أجل منع تصاعد الوقائع التشغيلية المنتظرة بالمحطة إلى ظروف مفضية إلى وقوع حوادث. وهذا في إطار الاعتراف باحتمال وقوع بعض الأحداث البادئة الافتراضية على امتداد عمر تشغيل محطة القوى النووية بالرغم من توخي الحرص على منعها. ويقتضي هذا المستوى توفير نظم محددة على النحو الذي يقرره تحليل الأمان وتحديد إجراءات تشغيلية من أجل منع الأضرار الناجمة عن تلك الأحداث البادئة الافتراضية أو تقليلها إلى أدنى حد.

٣) يفترض في المستوى الدفاعي الثالث، وإن كان من المستبعد بدرجة كبيرة، عدم إمكانية التحكم في تصاعد بعض الوقائع التشغيلية المتوقعة أو الأحداث البادئة الافتراضية في مستوى سابق، وإمكانية تطور الأمور إلى ما هو أسوأ. وهذه الأحداث المستبعد حدوثها متحسب لها في الأساس الذي يستند إليه تصميم المنشأة، وهناك سمات أمان متأصلة وتدابير تصميمية لمواجهة الأعطال، ومعدات وإجراءات إضافية للسيطرة على عواقب تلك الأحداث ولتهيئة أوضاع مستقرة ومقبولة في المحطة عقب وقوع تلك الأحداث. ويفضي ذلك إلى اشتراط توفير سمات أمان هندسية قادرة على أن تقود المحطة أولاً إلى حالة خاضعة للتحكم ثم إلى حالة إيقاف تشغيل مأمونة، وعلى الإبقاء على حاجز واحد على الأقل من أجل احتواء المواد المشعة.

٤) الهدف من المستوى الدفاعي الرابع هو مواجهة الحوادث العنيفة التي قد تتجاوز حدود الأساس التصميمي، وإلى ضمان الإبقاء على انطلاق مواد مشعة عند أقل قدر ممكن عملياً. وأهم ما يهدف إليه هذا المستوى الدفاعي هو الحفاظ على وظيفة الاحتواء. ويمكن تحقيق ذلك بواسطة تدابير وإجراءات تكميلية تحول دون تفاقم الحوادث، وبواسطة التخفيف من حدة العواقب المترتبة على حوادث عنيفة مختارة، بالإضافة إلى إجراءات التصدي للحوادث. ويمكن البرهنة على الوقاية التي يكفلها الاحتواء باستخدام أدق الأساليب التقديرية.

٥) يهدف المستوى الدفاعي الخامس والأخير إلى التخفيف من العواقب الإشعاعية المترتبة على احتمال انطلاق مواد مشعة يمكن أن تنشأ عن ظروف الحوادث. ويتطلب ذلك توفير مركز مجهز تجهيزاً كافياً لمراقبة الطوارئ (انظر القسم ٣ المتعلق بالتأهب والتصدي للطوارئ).

ومن الجوانب ذات الصلة بتنفيذ الدفاع في العمق أن يشمل التصميم سلسلة من الحواجز المادية لاحتواء المواد المشعة داخل أماكن محددة. وسوف يعتمد عدد الحواجز الضرورية على المخاطر الداخلية والخارجية المحتملة، وعلى العواقب المحتملة للأعطال. ويمكن أن تتخذ الحواجز في العادة في حالة المفاعلات المبردة بالماء، شكل قالب الوقود، وكسوة الوقود، وحدود ضغط نظام تبريد المفاعل، والاحتواء.

وكانت الفيضانات سبباً مشتركاً لتعطل نظام الإمداد بالقوى الكهربائية في حالات الطوارئ، والتوقف شبه الكامل لنظم تزويد أجهزة القياس والمراقبة بالتيار الكهربائي المستمر، وتدمير هياكل ومكونات التبريد بمياه البحر في المحطة.

ويهدف المستوى ٤ من الدفاع في العمق إلى منع تفاقم الحوادث والتخفيف من عواقب الحوادث العنيفة. وفيما يتعلق بالإجراءات التي اتخذت على المستوى ٤، احتاج المشغلون إلى استخدام كل الوسائل المتاحة لإمداد المفاعل بالمياه من أجل ضمان الإزالة الكافية للحرارة المتبقية. وتطلب ذلك توافر أجهزة لتوفير معلومات موثوقة عن بارامترات الأمان الرئيسية، ووسائل بسيطة وموثوقة لتخفيف ضغط المفاعل. وبالإضافة إلى ذلك، احتاج المشغلون إلى إرشادات واضحة وتدريب حتى يمكنهم الشروع في تدابير للتصدي للحادث [41].

وأثناء تطور الحادث، فقد المشغلون القدرة على قياس بارامترات الأمان الهامة بطريقة موثوقة من غرفة التحكم. وهذه المعلومات كانت مطلوبة لتقييم حالة المفاعل ولاتخاذ قرارات عن علم بشأن الإجراءات والأساليب غير العادية لتبريد المفاعلات. ومع ذلك فقد أعطى المشغلون الأولوية العليا لتبريد المفاعلات وتمكنوا من إعداد خطوط إمداد بالمياه بسرعة من أجل ضخ المبرد إلى المفاعلات باستخدام مضخات الضغط المنخفض المتاحة. غير أن محاولات تخفيف ضغط المفاعلات باءت بالفشل بسبب عدم اتخاذ أي ترتيبات للقيام بهذه المهمة بعد حدوث انقطاع كامل للقوى الكهربائية. ولم يكن من الممكن استعادة القوى الكهربائية المطلوبة للتحكم في الوقت المناسب للحيلولة دون تضرر قلب المفاعل [8].

وكان الحاجز المادي الأخير المشمول في المستوى ٤ من الدفاع في العمق احتواء المفاعل. والغرض من هذا الاحتواء هو التخفيف من عواقب الحوادث عن طريق الحيلولة دون انطلاق مواد مشعة كبيرة إلى البيئة بعد تضرر المفاعل. وتبعاً لنوع الاحتواء، يلزم وجود نظم شتى أو أنواع مختلفة من المعدات لحماية الاحتواء ضد الظواهر المادية المصاحبة للحوادث التي تفضي إلى تضرر قلب المفاعل ويمكن أن تشكل تحدياً لسلامة الاحتواء. وشملت الوحدات في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية وسائل للتحكم في تهوية الاحتواء من أجل تخفيف الضغط الزائد الذي يمكن أن ينشأ بسبب تسرب البخار من دائرة تبريد المفاعل. وبالإضافة إلى ذلك، ملئ الغلاف الجوي داخل الاحتواء بغاز النيتروجين الخامل لمنع احتراق الهيدروجين وتفادي انفجارات محتملة.

وتشير القياسات التي أجريت أثناء الحادث إلى أن ضغط الاحتواء في الوحدات ١ و٢ و٣ في أوقات معينة ازداد إلى مستويات قريبة أو أعلى من المستويات المحتاط لها في تصميم الاحتواء الخاص بكل من هذه الوحدات. ونجمت زيادة الضغط عن توقف نظم تبريد الاحتواء وتولد بخار بسبب الارتفاع الزائد في درجة حرارة قلب المفاعل. وبالرغم من أن بعض نظم تهوية الاحتواء فتحت بنجاح فإن المؤشرات كانت تدل على أن الاحتواء في الوحدات ١ و٢ و٣ قد تعطل، وهو ما أدى إلى انطلاق مواد مشعة وهيدروجين. وحال الغلاف الجوي المملوء بالنيتروجين داخل الاحتواء بفعلية دون احتراق النيتروجين وانفجاره في ذلك الحيز المحصور. غير أن الهيدروجين تسرب من الاحتواء إلى مباني المفاعلات، ووقعت انفجارات هيدروجينية في الوحدات ١ و٣ و٤ [8].

وأثبت حادث فوكوشيما داييتشي أن المخاطر الطبيعية العنيفة يمكن أن تعطل مستويات متعددة من الدفاع في العمق أو تقوضها [42,43]. ولذلك يتعين النظر في تحديد منهجي وتقييم للمخاطر الخارجية وتوفير وقاية قوية ضد هذه الأخطار على كافة مستويات الدفاع في العمق. وعلاوة على ذلك فقد كشف الحادث عن أن وضع ترتيبات تصميمية بديلة وتوفير إمكانات للتصدي للحوادث يمكن أن يضمن الإمداد بمياه التبريد إلى المفاعل حتى في حال توقف جميع نظم الأمان الرئيسية المصممة لوقاية المفاعل. غير أن استخدام تلك الترتيبات في

الوقت المناسب يتطلب أجهزة يمكنها توفير معلومات موثوقة بشأن ببارامترات الأمان الرئيسية، ووسائل بسيطة وموثوقة لتخفيف ضغط المفاعل حتى يمكن استخدام أي وسائل لإمداد المفاعل بمياه التبريد.

٢-٢-٣- تقييم الإخفاق في أداء وظائف الأمان الأساسية

تتمثل وظائف الأمان الأساسية الثلاث الهامة لضمان الأمان في التحكم في تفاعلية الوقود النووي؛ وإزالة الحرارة من قلب المفاعل وحوض الوقود المستهلك؛ واحتواء المواد المشعة. وعقب وقوع الزلزال، تحققت وظيفة الأمان الأساسية الأولى، وهي التحكم في التفاعلية، في كل الوحدات الست في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية.

وتعذَّر الحفاظ على وظيفة الأمان الأساسية الثانية، وهي إزالة الحرارة من قلب المفاعل وحوض الوقود النووي، نظراً إلى حرمان المشغلين من أغلبية وسائل التحكم في مفاعلات الوحدات ١ و٢ و٣، وأحواض الوقود المستهلك نتيجة لتوقف معظم النُظم الكهربائية العاملة بالتيار المتردد والتيار المستمر. وكان فقدان وظيفة الأمان الأساسية الثانية، في جانب منه، ناجمًا عن الإخفاق في تنفيذ عملية ضخ المياه بمعدات بديلة بسبب تأخر تخفيف ضغط أوعية ضغط المفاعلات. وأدّى توقف التبريد إلى ارتفاع مفرط في حرارة الوقود وانصهاره في المفاعلات.

وفُقدت وظيفة الاحتواء بسبب انقطاع التيار الكهربائي المتردد والتيار المستمر وأدّى ذلك إلى توقف نُظم التبريد وصعّب على المشغلين استخدام نظام تهوية الاحتواء. وكانت تهوية نظام الاحتواء ضروريةً للتخفيف من الضغط والحيلولة دون تعطل النظام. وتمكَّن المشغلون من تهوية الوحدتين ١ و٣ لتخفيف الضغط في أوعية الاحتواء الأولية. غير أن ذلك أسفر عن انطلاق انبعاثات مشعة في البيئة. ورغم أنَّ نظم التهوية فيما يتعلق بالوحدتين ١ و٣ كانت مفتوحة، فإنَّ أوعية الاحتواء الأولية قد تعطَّلت في نهاية المطاف فيما يتعلق بالوحدتين ١ و٣. وفي حالة الوحدة ٢، لم تنجح تهوية الاحتواء، وتعطل نظام الاحتواء مما تسبب في انطلاق مواد مشعة.

الإطار ٢-٦- وظائف الأمان الأساسية

وظائف الأمان الأساسية الثلاث هي:

(١) التحكم في التفاعلية؛

(٢) إزالة الحرارة؛

(٣) احتواء المواد المشعة.

وكان قد وقع حادثان قبل حادث محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بسبب الإخفاق في الحفاظ على واحدة أو أكثر من وظائف الأمان الأساسية. ووقع حادث عام ١٩٧٩ في محطة جزيرة ثري مايل آيلند للقوى النووية في الولايات المتحدة الأمريكية بسبب توقف وظيفة الأمان الثانية، ولكن حِيل بنجاح دون انطلاق مواد مشعة إلى البيئة بفضل الوظيفة الثالثة، وهي احتواء المواد المشعة عن طريق وعاء الاحتواء. ووقع حادث عام ١٩٨٦ في محطة تشرنوبل للقوى النووية في الاتحاد السوفياتي السابق بسبب توقف وظيفة الأمان الأولى. ولم تكن المحطة مزوَّدة بوعاء احتواء. ولذلك أسفر حادث تشرنوبل عن انطلاق مواد مشعة كبيرة للغاية إلى البيئة. ووقع حادث فوكوشيما داييتشي بسبب توقف الوظيفتين الثانية والثالثة من وظائف الأمان في أعقاب مجموعة من الأحداث الخارجية العنيفة.

التحكم في تفاعلية الوقود النووي في قلب المفاعل

توفِّر نُظم الأمان الخاصة بالتحكم في تفاعلية الوقود النووي في قلب المفاعل الحماية للمفاعل ونُظم محركات قضبان التحكم. وقبل وقوع الزلزال، كانت الوحدات ١-٣ في محطة فوكوشيما قيد التشغيل؛ وكانت الوحدات ٤-٦ مغلقة لأغراض الصيانة. وكانت مفاعلات الوحدات ١-٣ قد أُغلقت تلقائياً عن طريق نُظم حماية المفاعلات التي نشطتها معدات رصد الأحداث الزلزالية. وأنهى إدخال قضبان التحكم في المفاعل عن طريق نُظم محركات قضبان التحكم التفاعل النووي المتسلسل في الوقود النووي وأغلق المفاعلات.

إزالة الحرارة من الوقود النووي

بعد إغلاق الوحدات ١-٣، تمت إزالة الحرارة المتبقية، المتولدة بفعل ما كان يجري من اضمحلال للمواد المشعة في الوقود، عن طريق نُظم تبريد المفاعل ومكن هذا الأمر من الحفاظ على وظيفة الأمان الأساسية الثانية. وكانت نُظم التبريد المذكورة تتكوَّن من أنشوطات دوران مغلقة لنقل الحرارة إلى مياه البحر ووسائل مختلفة لضخ المياه تحت الضغط العالي والضغط المنخفض في قلب المفاعل من أجل إزالة هذه الحرارة المتبقية (انظر القسم ٢-١).

وتطلب تشغيل الكثير من تلك النُظم تياراً كهربائياً متردداً، وتتطلب التحكم في تشغيلها جميعاً تياراً كهربائياً مستمراً. وكانت معظم مصادر القوى الكهربائية قد فقدت أثناء الحادث؛ ويركز هذا الجزء من التقرير على أثر هذا الانقطاع في القوى الكهربائية.

الوحدة ١

بدأ مكثِّف العزل (انظر الإطار ٢-٢) الخاص بتبريد الوحدة ١ في العمل تلقائياً نتيجة لارتفاع إشارة ضغط وعاء المفاعل. وفتح ذلك صمامات العزل في خطوط رجوع الماء المتكثف (كانت هناك صمامات عزل أخرى مفتوحة في الخطوط أثناء التشغيل العادي) عندما أغلق المفاعل عقب الزلزال. وحسب ما تقتضيه إجراءات التشغيل، قام المشغلون بإيقاف نظام مكثِّف العزل وأعادوا تشغيله عدة مرات لمنع تبريد المفاعل بسرعة أكبر من اللازم وإحداث إجهاد حراري يتجاوز القيم التصميمية لوعاء ضغط المفاعل. وتحقق ذلك عن طريق فتح وإغلاق صمامات العزل في خطوط رجوع الماء المتكثف [8].

وعندما أغرق التسونامي الموقع وانقطعت القوى الكهربائية، كان المشغلون قد أوقفوا لتوهم نظام مكثِّف العزل عن طريق إغلاق صمام في خط الرجوع خارج وعاء الاحتواء الأوّلي. ولم يكن لدى المشغلين أي معلومات متاحة عن أوضاع صمام مكثِّف العزل، وبدأت أولى محاولاتهم لإعادة تشغيل مكثِّف العزل يدوياً بعد ما يقرب من ثلاث ساعات. ولم يكن المشغلون مدرَّبين تماماً على فهم كيفية عمل الصمامات في هذه الظروف. وأجرى المشغلون في نهاية المطاف محاولتين فاشلتين من غرفة التحكم الرئيسية لإعادة تشغيل مكثِّف العزل عن طريق فتح صمامات العزل الخارجية. ولم تكن لدى المشغلين أي إجراءات لتشغيل مكثِّف العزل يدوياً. وفي وقت كتابة هذا التقرير، مازالت المواقع الدقيقة لجميع الصمامات الموجودة في نظام مكثف العزل مجهولة ، ولكن هنالك مؤشرات على أن مكثِّف العزل لم يعمل بعد وقوع التسونامي [8].

ولم يكن نظام ضخ المبرِّد العالي الضغط باستخدام توربين البخار متاحاً بسبب انقطاع التيار الكهربائي المستمر.

وفي أعقاب توقف مكثِّف العزل ونظام التبريد بالحقن العالي الضغط، بات مطلوباً استخدام وسيلة بديلة لضخ المياه في وعاء ضغط المفاعل بالاعتماد على معدات منخفضة الضغط، مثل مضخات إطفاء الحريق أو عربات

الإطفاء. وجهَّز المشغلون مسارات ضخ المياه في الموعد المحدَّد، ولكن كان من الضروري أيضاً كي يتمكنوا من ضخ المياه تحت ضغط منخفض تخفيض الضغط داخل وعاء ضغط المفاعل باستخدام صمامات تخفيف الضغط. وتعذَّر فتح تلك الصمامات بسبب انقطاع قوى التحكم والهواء العالي الضغط. وكان الضغط في وعاء المفاعل وفي الاحتواء أعلى من أن يسمح بضخ مياه كافية لتبريد الوقود بدون تهوية الاحتواء وتصريف الضغط من وعاء ضغط المفاعل. ولذلك عجزت النُظم البديلة لضخ المياه تحت ضغط منخفض عن ضخ المياه في وعاء ضغط المفاعل.

وظل الضغط في وعاء المفاعل عالياً إلى أن أصيب قلب المفاعل بأضرار شديدة وكان سبب تخفيف الضغط الأكثر احتمالا هو تصدع وعاء ضغط المفاعل جراء الانصهار [44]. ومما يؤيد الافتراض بأنَّ تخفيف الضغط كان ناجمًا عن حدوث تصدع، الزيادة في ضغط الاحتواء بعد بضع ساعات من ظهور مؤشرات على إصابة قلب المفاعل بأضرار شديدة. وبالتالي، فإن ما ترتب عن ذلك من انخفاض في الضغط هو ما أتاح الظروف لضخ المياه إلى وعاء ضغط المفاعل بعد نحو ١٢ ساعة من وقوع التسونامي. غير أن أضراراً شديدة كانت قد أصابت بالفعل الوقود حينذاك [8].

ويقدَّر أن الأضرار التي لحقت بقلب مفاعل الوحدة ١ بدأت بالحدوث بعد ما يتراوح بين ٤ و٥ ساعات من وقوع التسونامي، وأن قلب المفاعل المنصهر مزق قاع وعاء المفاعل بعد ما يتراوح بين ٦ و٨ ساعات من وقوع التسونامي. ولوحظت أولى علامات انطلاق مواد مشعة إلى البيئة بعد نحو ١٢ ساعة من التسونامي، وحدث انطلاق كبير عندما تمت تهوية احتواء الوحدة ١ للحيلولة دون تمزقه بسبب الضغط العالي بعد نحو ٢٣ ساعة من وقوع التسونامي. ونتجت عن التفاعلات الكيميائية بين كسوة الوقود والماء كميات كبيرة من الهيدروجين مرت من وعاء ضغط المفاعل إلى وعاء الاحتواء الأوّلي وواصلت تسربها إلى مبنى المفاعل [8].

الوحدة ٢

يختلف تصميم الوحدة ٢ فيما يتعلق بإزالة الحرارة المتبقية من قلب المفاعل. واستخدم نظام تبريد عزل قلب المفاعل (انظر الإطار ٢-٢) البخار من وعاء ضغط المفاعل لتحريك توربين كان يضخ الماء في وعاء المفاعل. وتم تشغيل نظام تبريد عزل قلب مفاعل الوحدة ٢ يدوياً بعد انقطاع القوى الكهربائية خارج الموقع. وتطلب تشغيل هذا النظام من بُعد تياراً كهربائياً مستمراً. وقد صُمم النظام للعمل لمدة أربع ساعات على الأقل. غير أن النظام استمر في العمل في ظروف قاسية لمدة بلغت نحو ٦٨ ساعة بدون تيار كهربائي مستمر وبدون تدخل من المشغِّل [8]. ونجح هذا النظام في الحفاظ على مستوى الماء في وعاء ضغط المفاعل وفي ضمان وظيفة التبريد.

وهناك مؤشرات على أن نظام تبريد عزل قلب المفاعل قد تعطل بعد نحو ٦٨ ساعة. ولذلك لم يعد ممكناً ضخ الماء في وعاء ضغط المفاعل لأنه كان تحت ضغط مرتفع. وأشارت التقديرات إلى أن مستوى الماء في وعاء ضغط المفاعل سينخفض ليصل إلى قمة قلب المفاعل في بضع ساعات بعد توقف نظام تبريد عزل قلب المفاعل. واعتمد المشغلون على معدات بديلة لضخ المياه تحت ضغط منخفض على غرار المعدات التي كانت متاحة في الوحدة ١. وبعد بعض الصعوبات الأوَّلية، نجح المشغلون في تخفيض الضغط في وعاء ضغط المفاعل عن طريق استخدام صمامات تخفيف الضغط بالرغم من أن ضخ الماء تأخر أكثر من اللازم لمنع حدوث ارتفاع سريع في حرارة الوقود وتضرر قلب المفاعل.

وأخفق نظام تهوية الاحتواء في تخفيف الضغط في الوحدة ٢. ويُعتَقد أن هذا الاخفاق حدث لأنَّ قرص الانفتاق لم يتحطَّم. ويقدَّر أن قلب مفاعل الوحدة ٢ قد بدأ في الانصهار بعد نحو ٧٦ ساعة من وقوع التسونامي. وبدأ

انطلاق المواد المشعة بعد نحو ٨٩ ساعة من التسونامي عقب تصدع حد الاحتواء حسب ما تبيَّن من الانخفاض السريع في ضغط الاحتواء [45].

الوحدة ٣

ظل التيار المستمر متاحاً في الوحدة ٣ لمدة يومين تقريباً خلافاً لما حدث في الوحدتين ١ و٢. ويعني ذلك استمرار عمل نظام تبريد قلب المفاعل ونظام ضخ المبرِّد العالي الضغط باستخدام المضخات المدفوعة بالبخار. وكان المشغلون في البداية قادرين على الحفاظ على مستويات الماء في قلب المفاعل عن طريق ضخ الماء باستخدام نظام تبريد عزل قلب المفاعل. واتبع المشغلون الإجراءات التي مكنتهم من تحقيق أقصى عمر متاح للبطاريات من أجل نظام تبريد عزل قلب المفاعل [8].

وبالإضافة إلى ذلك، أتيح تصريف البخار من وعاء ضغط المفاعل إلى حجرة الكبح، وتسنى التحكم في ضغط حجرة الكبح باستخدام رش الماء من مضخات الإطفاء. واستمر هذا الوضع لمدة ٢٠ ساعة إلى أن توقف نظام تبريد عزل قلب المفاعل عن العمل ولم يكن من الممكن إعادة تشغيله. وبدأ نظام ضخ المبرِّد العالي الضغط في ضخ المياه تلقائياً في وعاء ضغط المفاعل للحفاظ على مستوى الماء.

والغرض من نظام ضخ المبرِّد العالي الضغط هو إعادة ملء وعاء ضغط المفاعل بعد حدوث تسرب في نظام مبرِّد المفاعل. وكان هذا النظام فعالاً بدرجة كبيرة في تخفيض الضغط في وعاء ضغط المفاعل. غير أن ذلك أدى إلى انخفاض ضغط البخار الداخل إلى توربين المضخة إلى ما دون المستوى المحدَّد في مواصفات المضخة، وانخفض مستوى كفاءة المضخة انخفاضاً كبيراً. وقرر المشغلون إغلاق النظام بعد حوالي ١٤ ساعة بسبب القلق من إمكانية تعطل النظام وتسريبه مواد مشعة إلى خارج الاحتواء.

وبعد إغلاق نظام ضخ المبرِّد العالي الضغط، أعد المشغلون خطاً لضخ المياه إلى وعاء المفاعل وكانوا جاهزين لضخ مياه البحر في وعاء المفاعل. غير أنه بسبب ارتفاع ضغط المفاعل، لم يكن ممكناً ضخ مياه البحر إلاّ بعد تصريف الضغط منه. لذلك، وبسبب التأخر في ضخ مياه البحر في وعاء المفاعل، استمر مستوى الماء في الانخفاض إلى أن اقترب من قمة الوقود. ويعتقد أن إشارة تلقائية، يشتبه في أنها كانت كاذبة، تسببت في تصريف الضغط تلقائياً بسرعة من خلال صمامات تخفيف الضغط قبل أن يتمكَّن المشغلون من التحكم في فتح صمامات الأمان [46]. وتشير التقديرات إلى أن تصريف الضغط، إلى جانب انخفاض مستوى الماء في وعاء الضغط، تسبب في تحول الماء المتبقي في قلب المفاعل بسرعة إلى بخار مما أدّى إلى توقف التبريد الكافي لقلب المفاعل. وتشبه سلسلة الأحداث اللاحقة التي أفضت إلى توقف تبريد قلب المفاعل الأحداث التي وقعت في الوحدة ٢.

وبدأت حرارة قلب المفاعل في الارتفاع إلى مستويات مفرطة، وأدت تصريفات البخار الكبيرة من وعاء ضغط المفاعل إلى حجرة كبح الاحتواء إلى زيادة الضغط إلى مستوى تسبب في تمزق قرص الانفتاق في خط التهوية وفتح ذلك مساراً لحدوث انطلاق إلى البيئة [8] ويقدَّر انصهار قلب مفاعل الوحدة ٣ بأنه بدأ بعد نحو ٤٣ ساعة من وقوع التسونامي. وبدأت انطلاقات مشعة كبيرة بعد نحو ٤٧ ساعة من التسونامي [8].

الوحدة ٤

كانت الوحدة ٤ تخضع لتفتيش مقرَّر وأُغلقت قبل الحادث. وكان كل وقود الوحدة ٤ موجوداً في حوض الوقود المستهلك وقت وقوع الحادث. ولذلك، لم يكن ضرورياً تبريد قلب مفاعل الوحدة ٤. وتعذَّر تبريد حوض الوقود المستهلك بسبب انقطاع التيار الكهربائي، ولذلك بدأت درجة حرارة الحوض في الارتفاع.

أحواض الوقود المستهلك

خلال الأيام القليلة الأولى بعد وقوع التسونامي، اعتقد المشغلون أن أحواض الوقود المستهلك كانت تحتوي على كميات كافية من المياه، وأن ارتفاع حرارة الوقود إلى مستويات مفرطة لم يكن يشكِّل مسألة عاجلة. وتغيَّرت هذه النظرة في ١٥ آذار/مارس عندما انفجر مبنى مفاعل الوحدة ٤. وساد اعتقاد آنذاك بأن سبب الانفجار هو الهيدروجين، وكان المصدر الوحيد المحتمل للهيدروجين في الوحدة ٤ هو الوقود الذي ارتفعت حرارته إلى مستويات مفرطة في حوض الوقود المستهلك بعد فقدان غطاء الماء. وأثار ذلك فوراً قلقاً بشأن كمية المياه المتبقية في ذلك الحوض، وبُذلت جهود لتحديد مستوى الماء في أحواض الوقود المستهلك.

وفي ١٦ آذار/مارس، أشارت التفتيشات البصرية إلى أنه ما زالت هنالك مياه في الحوض في الوحدة ٤. غير أن الحالة في الوحدة ٣ أثارت قلقاً أدّى إلى العديد من الجهود التخفيفية، بما في ذلك إنزال المياه جواً باستخدام المروحيات. وكشفت التحليلات وعمليات التفتيش التي أُجريت لاحقاً أن مستوى الماء في أحواض الوقود المستهلك في الوحدتين ٣ و٤ لم تهبط إلى مستوى الوقود المستهلك. وأكدت هذه التفتيشات أن الانفجار الذي وقع في الوحدة ٤ نجم عن الهيدروجين، وأن مصدر الهيدروجين لم يكن الوقود الذي كان موجوداً في حوض الوقود المستهلك في الوحدة ٤، بل كان بسبب انتقال الهيدروجين من الوحدة ٣ إلى الوحدة ٤ عن طريق نظام مشترك للتهوية. ومع ذلك فإن عدم معرفة الظروف الفعلية في أحواض الوقود المستهلك أثناء الحادث بسبب توقف الأجهزة أدى إلى بذل جهود لإضافة مياه إلى الحوض. ويرد في القسم ٢-١ وصف مفصَّل لأحداث أحواض الوقود المستهلك.

الوحدتان ٥ و٦

تأثرت أيضاً الوحدتان ٥ و٦ بالتسونامي، ولكن مفاعليهما كانا يولدان حرارة متبقية أقل لأنهما كانا قد أغلقا لمدة طويلة قبل الحادث. وبالإضافة إلى ذلك، نجا من الفيضان واحد من المولدات الاحتياطية التي كانت تعمل بالديزل في الوحدة ٦ وظل صالحاً للعمل. وبالتالي فقد أتيح للمشغلين وقت أطول للتصدي، وتم إمداد نُظم التبريد في الوحدتين بالقوى الكهربائية من المولد الاحتياطي المتبقي الذي كان يعمل بالديزل. وحافظ هذا الإمداد بالقوى على تبريد قلب كل من المفاعلين ووقع استخدامه في نهاية المطاف لتوفير التبريد لأحواض الوقود المستهلك في الوحدتين ٥ و٦ اللتين بُرِّدت كل واحدة منها بنجاح حتى وصلت إلى حالة مأمونة [8].

احتواء المواد المشعة والتحكم في الانبعاثات المشعة

نتيجة للأضرار التي لحقت بقلوب المفاعلات الوحدات ١-٣، تسربت مقادير كبيرة من البخار والهيدروجين من أوعية ضغط المفاعلات. وأدّى ذلك بدوره إلى تكون الضغط وتسخين أوعية الاحتواء الأوّليّة. وتصدعت هذه الأوعية وانطلق البخار والهيدروجين وغيرهما من الغازات، إلى جانب مواد مشعة، في مباني المفاعلات وإلى البيئة في نهاية المطاف.

ولم تكن أوعية الاحتواء الأولية في المفاعلات مصمَّمة لتحمل الضغط الذي يمكن أن يتولَّد في حادث عنيف، ولذلك رُكِّبت أنظمة تهوية في تسعينات القرن الماضي [22, 23] لتخفيف الضغط في أوعية الاحتواء في حال وقوع حادث ما. ولا توجد مؤشرات على أن أوعية الاحتواء الأوليّة في الوحدات ١-٣ تعطلت خلال مختلف مراحل تطور الحادث. ونجم ذلك عن ارتفاع الضغط ودرجة الحرارة في وعاء الاحتواء الأوّلي إلى مستويات تجاوزت كثيراً الإمكانات التصميمية قبل أن يتسنى تنفيذ عملية التهوية (انظر القسم ٢-١). وتم التخفيف جزئياً من تسرب المواد المشعة من قلوب المفاعلات باستخدام أحواض الكبح التي احتفظت ببعض النويدات المشعة المنطلقة من أوعية ضغط المفاعلات.

٢-٢-٤- تقييم الحوادث غير المحتاط لها في التصميم والتصدي للحوادث

إنَّ تحليلات الأمان التي أُجريت خلال عملية الترخيص لمحطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية وخلال تشغيلها لم تتناول بالكامل إمكانية حدوث سلسلة معقدة من الأحداث التي يمكن أن تؤدي إلى أضرار جسيمة في قلب المفاعل. وأخفقت تحليلات الأمان على وجه الخصوص في تحديد قابلية المحطة للتضرر من الفيضانات ومواطن ضعفها في إجراءات التشغيل وفي المبادئ التوجيهية للتصدي للحوادث. ولم تتناول تحليلات الأمان الاحتمالية إمكانية حدوث فيضانات داخلية، كما أنَّ الافتراضات المتعلقة بالأداء البشري للتصدي للحوادث كانت تدعو إلى التفاؤل. وعلاوة على ذلك لم تفرض الهيئة الرقابية إلا متطلبات محدودة لكي يتسنى للمشغلين النظر إمكانية حصول حوادث عنيفة

ولم يكن المشغلون على استعداد تام لمواجهة انقطاع الكهرباء عن وحدات متعددة وفقدان نظام التبريد جراء التسونامي. وصحيح أنَّ شركة تيبكو قد أعدَّت مبادئ توجيهية في التصدي للحوادث العنيفة، إلا أنَّ تلك المبادئ لم تتطرَّق إلى هذه التوليفة المستبعدة من الأحداث. وبناء على ذلك، فإنَّ المشغلين لم يتلقوا التدريب المناسب ولم يشاركوا في تمارين التصدي للحوادث العنيفة، ذات الصلة، ولم تكن المعدات المتاحة لهم مناسبة في الظروف المتدهورة التي عرفتها المحطة.

وفي أيلول/سبتمبر ٢٠١٢، أنشئت الهيئة الرقابية النووية. ووضعت الهيئة لوائح جديدة بشأن محطات القوى النووية من أجل وقاية الناس والبيئة، ودخلت تلك اللوائح حيز النفاذ في عام ٢٠١٣. وعززت اللوائح التدابير المضادة للحيلولة دون فقدان كل وظائف الأمان في آن واحد نتيجة لأسباب مشتركة، بما في ذلك إعادة تقييم أثر الأحداث الخارجية، من قبيل الهزات الأرضية وموجات التسونامي. واتخذت أيضاً تدابير مضادة جديدة للتصدي للحوادث العنيفة من أجل مواجهة تضرر قلوب المفاعلات، وتضرر وعاء الاحتواء، وانتشار مواد مشعة.

وتطلَّبت معايير أمان الوكالة التي كانت سارية في وقت وقوع الحادث إجراء تقييم لتحديد ما إذا كان من الممكن تحقيق وظائف الأمان بالنسبة لجميع الأنماط التشغيلية العادية وظروف الحوادث والحوادث غير المحتاط لها في التصميم، بما في ذلك الحوادث العنيفة. ومن الضروري تحديد تسلسلات الأحداث الهامة التي يمكن أن تؤدي إلى وقوع حادث عنيف، وذلك باستخدام توليفة من الأساليب الاحتمالية والأساليب القطعية والأحكام الهندسية السليمة [27]. وبالإضافة إلى ذلك، تدعو الحاجة إلى إجراء تحليلات محددة وقطعية للحوادث غير المحتاط لها في التصميم من أجل التحقق من سيناريوهات الحوادث المعقولة التي يمكن استخدامها لإدخال تحسينات في تدابير التصدي للحوادث [41]. وبالتالي فإن من الضروري تحديد ما إذا كان بالإمكان تحقيق وظائف الأمان في ظروف الحوادث غير المحتاط لها في التصميم.

الإطار ٢-٧- تقييمات الأمان القطعية والاحتمالية [47, 48]

تحليلات الأمان هي التقييمات التحليلية للظواهر الفيزيائية التي تحدث في مفاعلات القوى النووية. وتتنبأ تحليلات الأمان القطعية بالتصدي للأحداث البادئة الافتراضية. ويتم تطبيق مجموعة محددة من القواعد ومعايير القبول. وفي العادة، ينبغي أن تركز هذه القواعد والمعايير على الجوانب النيوترونية والحرارية-الهيدروليكية والإشعاعية والحرارية-الميكانيكية والهيكلية، التي غالبا ما يتم تحليلها باستخدام عدة أدوات حسابية.

الإطار ٢-٧- تقييمات الأمان القطعية والاحتمالية [47, 48] (تابع)

وينبغي إجراء أفضل تقدير لتحليلات الأمان القطعية بغية تأكيد الاستراتيجيات التي تم تطويرها لاستعادة الظروف التشغيلية العادية في المحطة عقب ما شهدته من أحداث عابرة ناجمة عن وقائع تشغيلية متوقعة وحوادث محتاط لها في التصميم. وتتجلى هذه الاستراتيجيات من خلال اجراءات التشغيل في حالات الطوارئ التي تحدد الإجراءات التي ينبغي اتخاذها خلال أحداث من هذا القبيل. وتحليلات الأمان القطعية لازمة لتحديد الإجراءات التي يجب على المشغل اتخاذها خلال التصدي لبعض الحوادث، كما ينبغي أن تكون التحليلات عنصرًا هامًا في استعراض استراتيجيات التصدي للحوادث. ولدى وضع استراتيجيات التعافي، وبغية تحديد المدة الزمنية المتاحة للمشغل لكي يتخذ اجراءات فعالة، ينبغي إجراء حسابات الحساسية بشأن التوقيت اللازم للإجراءات التي يتخذها المشغِّل، كما يمكن أن تستخدم هذه الحسابات لتحسين الإجراءات.

وينبغي إجراء تحليلات الأمان القطعية بغية المساعدة على وضع الاستراتيجية التي يتعين على المشغل اتباعها في حال لم تنجح إجراءات التشغيل في حالات الطوارئ في الحيلولة دون حصول حادث عنيف. وينبغي أن تستخدم هذه التحليلات لتحديد ما يمكن توقع مواجهته من تحديات خلال تطور الحوادث وما يمكن أن يطرأ من ظواهر كما ينبغي استخدامها لتوفير الأساس لوضع مجموعة من المبادئ التوجيهية للتصدي للحوادث وتخفيف عواقبها.

ومع أنه بالإمكان استخدام التحليلات القطعية للتأكد من الوفاء بمعايير القبول، بالإمكان استخدام تقييم الأمان الاحتمالي لتحديد احتمال التضرر بالنسبة إلى كل حاجز من الحواجز. وبالتالي، فإن تقييم الأمان الاحتمالي يمكن أن يكون أداة مناسبة لتقييم المخاطر التي تنشأ من السلاسل المنخفضة الوتيرة التي تتضرر من جرائها الحواجز، في حين أن تحليلاً قطعيًا يكون مناسبًا لأحداث أعلى وتيرة.

وتضطلع تحليلات الأمان القطعية بدور هام لدى إجراء تقييم أمان احتمالي لأنها تقدم معلومات بشأن ما إذا كان سينجم عن سيناريو الحادث عطل في حاجز ناتج انشطار ما. وشجرة أعطال تقييم الأمان الاحتمالي أداة قوية يمكن استخدامها للتأكد من أن الافتراضات التي تتم عادة في الحساب القطعي بشأن توافر النظم.

وأهداف تقييم الأمان الاحتمالي هي تحديد جميع العوامل التي تساهم مساهمة كبيرة في المخاطر الإشعاعية التي تنشأ من المرفق أو النشاط، وتقييم مدى دقة التوازن في التصميم الشامل ومدى وفائه بمعايير الأمان الاحتمالي حيثما جرى تحديدها. وفي مجال مفاعلات البحوث، يَستَخدم تقييم الأمان الاحتمالي نهجاً شاملاً منظمًا لتحديد سيناريوهات الأعطال. وهو يشكل أداة مفاهيمية ورياضية تتيح استخلاص تقديرات عددية للمخاطر. ويَستخدم النهج الاحتمالي فرضيات واقعية كلما أمكن ذلك ويتيح إطاراً لمعالجة العديد من حالات عدم التيقن بشكل صريح. وربما أتاحت النُهُج الاحتمالية أفكارًا حول موثوقية أداء النظام، والتفاعلات ومواطن الضعف في التصميم وتطبيق مفهوم الدفاع في العمق والمخاطر، وهي مسائل قد لا يكون بالإمكان التوصل إليها من خلال إجراء تحليل قطعي.

وأتاح إدخال التحسينات على النهج العام المتّبع حيال تحليل الأمان تكامل النهجين القطعي والاحتمالي على نحو أفضل. ومع تزايد جودة النماذج والبيانات ذات الصلة، يمكن استحداث تحليل قطعي أكثر واقعية والاستفادة من المعلومات الاحتمالية في اختيار سيناريوهات الحوادث. ويتزايد التركيز على تحديد الوسائل الاحتمالية التي يجب بها إثبات الامتثال لمعايير الأمان القطعي، وذلك، مثلاً، عن طريق تحديد فترات الثقة الفاصلة وكيفية تحديد هوامش الأمان.

ويمكن استخدام تقنيات عديدة في إجراء التحليل الاحتمالي للأمان. والنهج المتبع عادة هو استخدام مزيج من أشجار الأحداث وأشجار الأعطال. والحجم (التعقد) النسبي لأشجار الأحداث وأشجار الأعطال هو إلى حد كبير مسألة تفضيل للتحليل وهو يعتمد كذلك على سمات البرنامج الحاسوبي المستخدم.

وتلخِّص أشجار الأحداث الخصائص الواسعة لتسلسلات الحوادث التي تبدأ من الحدث البادئ وتفضي، بحسب نجاح أو فشل نظم أمان التخفيف والنظم المتعلقة بالأمان، إلى نتيجة ناجحة أو إلى حصول ضرر في قلب المفاعل، أو إلى حالات تضرُّر المحطة (التي تقتضي المستوى ٢ من التحليل الاحتمالي للأمان). وتُستخدم أشجار الأعطال لوضع نموذج لتعطل نظم الأمان ونظم الدعم عن أداء وظائفها المتعلقة بالأمان.

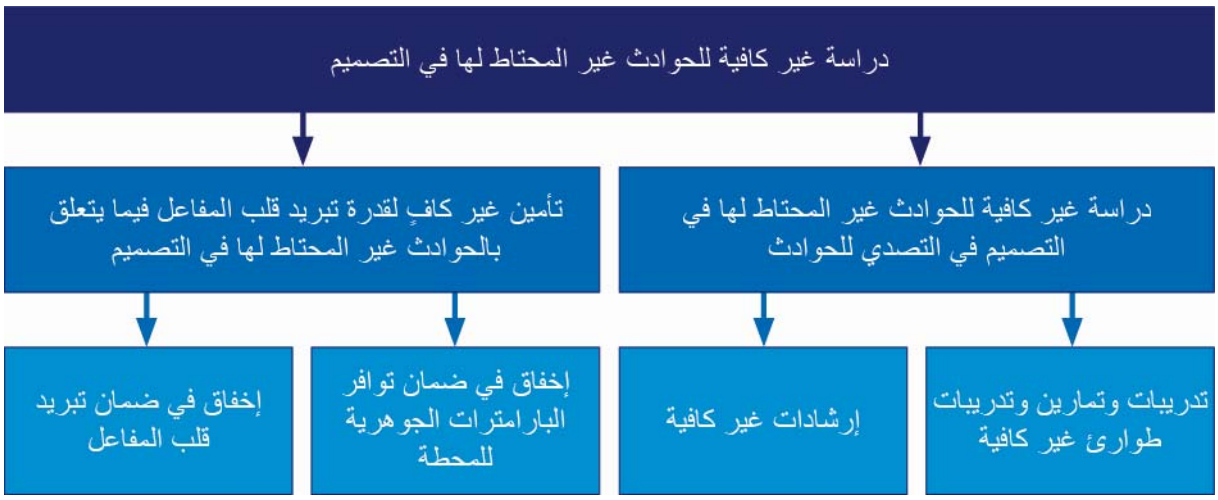
وينبغي إعداد أشجار الأعطال لتقديم نموذج تعطل منطقي فيما يتعلق بحالات أعطال نظم الأمان المحددة في تحليل شجرة الأحداث. وينبغي أن يكون معيار الأعطال الذي يتيح الحدث العلوي الخاص بشجرة الأعطال بالنسبة لكل وظيفة من وظائف نظام الأمان هو العكس المنطقي لمعيار نجاح تسلسل الأحداث. وينبغي أن تكون الأحداث الرئيسية التي وُضع لها نموذج في أشجار الأعطال متسقة مع البيانات المتاحة حول أعطال المكوِّنات. وينبغي تطوير نماذج أشجار الأعطال لتصل إلى مستوى أنماط الأعطال الكبيرة الخاصة بالمكوِّنات الفردية (المضخات والصمامات ومولِّدات الديزل، إلخ) والأخطاء البشرية الفردية، وينبغي أن تضم جميع الأحداث الأساسية التي يمكن أن تؤدي مباشرة أو بالاقتران مع أحداث أساسية أخرى إلى الحدث العلوي في شجرة الأعطال.

وقد شرعت شركة تيبكو في إجراء تقييمات أمان احتمالية، وتقييمات أمان احتمالية لأهم تسلسلات الأحداث، في تسعينات القرن الماضي. وتماشيًا مع ممارسة الدول الأعضاء في الوكالة آنذاك، كانت تقييمات الأمان الاحتمالية هذه تقتصر على الأحداث التي تقع في محطات القوى النووية التي تضم وحدة منفردة. وصحيح أنَّ محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية كانت تقع في منطقة كان يُحتمل أن يضربها التسونامي، إلى أن هذه التحليلات لم تشمل الأعطال المشتركة السبب التي تسببت فيها الفيضانات أو الانقطاع المطول للطاقة الكهربائية [8]. كما أن دراسات التقييم الاحتمالي للأمان فيما يتعلق بمحطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية لم تنظر في الفيضانات الداخلية أو الحرائق، وكانت الافتراضات المتعلقة إجراءات التي يتخذها المشغلون متفائلة.

وتدعو الحاجة إلى إجراء تقييم احتمالي شامل للأمان، بما في ذلك تسلسلات الفيضانات الداخلية، من أجل تسليط الضوء على ضعف النظم الجوهرية في المحطة، مثل مولدات الديزل الخاصة بالطوارئ والمفاتيح الكهربائية، في مواجهة الفيضانات. وفي عام ١٩٩١، أدى أنبوب متآكل إلى تسريب الماء بمعدل ٢٠ مترًا مكعبًا في الساعة، مما أدى إلى تسرب الماء إلى الغرفة التي يوجد فيها النظام الكهربائي الخاص بالمفاعل في حالات الطوارئ عبر الباب وعبر فتحات الكوابل في الوحدة ١.في محطة فوكوشيما للقوى النووية. وأظهر هذا الحادث أنَّ هناك ضعفًا في مواجهة الفيضانات فيما يتعلق بموقع مولِّدات الديزل الخاصة بالطوارئ ومجموعة المفاتيح الكهربائية في الطابق السفلي.

وتم كذلك تقييم إرشادات التصدي للحوادث في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية من خلال إجراء دراسات محدودة النطاق للتقييم الاحتمالي للأمان. فعلى سبيل المثال، شملت هذه التقييمات استخدام نظام تهوية الاحتواء من خلال تطبيق نهج شجرة الأعطال لمحاكاة أعطال المعدات مع احتمال وجود أخطاء بشرية فيما يتعلق بالتشغيل اليدوي. ولم يتم إجراء تقييم أكثر دقة للتحديات المواجهة في التصدي للحوادث العنيفة، بما يشمل التدريبات والإرشادات المحدودة المقدمة إلى موظفي المحطة. ولم يكن هناك اعتراف بأنَّ الافتراضات بشأن احتمال العطل كانت مفرطًة في التفاؤل ولم تؤدي الدراسات التي أجريت في هذا الصدد إلى إدخال تحسينات في الإجراءات والإرشادات [47] (انظر الإطار ٢-٨ فيما يخص التصدي للحوادث).

وكانت محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية تعاني من بعض نقاط الضعف التي لم يتم تقديرها بشكل كامل بإجراء تقييم احتمالي للأمان، كما توصي بذلك معايير الأمان الصادرة عن الوكالة [47, 49]. وتشمل الأمثلة عن ذلك عدم حماية مولدات الديزل الخاصة بالطوارئ وغرف البطاريات والمفاتيح الكهربائية من الفيضانات وانخفاض احتمالات نجاح التدخلات في الحوادث العنيفة، نظرا لتوفير إرشادات وتدريبات ومعارف محدودة لموظفي المحطة في مجال التصدي للحوادث العنيفة. ولم يتم النظر بصورة كافية في الحوادث غير المحتاط لها في التصميم، مما أثَّر في القدرة على الحفاظ على تبريد قلب المفاعل، وفي قدرة المشغلين على رصد معالم الأمان الهامة وإدارة الظروف المفضية إلى وقوع حوادث عنيفة (انظر الشكل ٢-٧).



الشكل ٢-٧- تأثير النظر بصورة غير كافية في الحوادث غير المحتاط لها في التصميم مما أثّر في القدرة على الحفاظ على تبريد قلب المفاعل، وفي قدرة المشغلين على رصد معالم الأمان الهامة وإدارة الظروف المفضية إلى وقوع حوادث عنيفة [27, 50]

الإطار ٢-٨- التصدي للحوادث [41]

ينبغي وضع برنامج للتصدي للحوادث فيما يتعلق بجميع المحطات، بصرف النظر عن تواتر تلف قلب المفاعل وتواتر إطلاق نواتج الانشطار المحسوبة للمحطة. وينبغي استخدام نهج تنازلي منظم لإعداد إرشادات للتصدي للحوادث. وينبغي أن يبدأ هذا النهج بالأهداف والاستراتيجيات ويؤدي إلى الإجراءات والمبادئ التوجيهية، وينبغي أن يشمل المجالين الوقائي والتخفيفي.

وفي المستوى الأعلى، تُعرَّف أهداف التصدي للحوادث على النحو التالي: منع إصابة قلب المفاعل بضرر كبير؛ ووقف تطور الضرر اللاحق بقلب المفاعل فور ظهوره؛ والحفاظ على سلامة الاحتواء أطول فترة ممكنة؛ وتقليص انبعاثات المواد المشعة؛ وبلوغ حالة مستقرة على المدى الطويل. ولتحقيق هذه الأهداف، ينبغي وضع عدد من الاستراتيجيات.

ومن هذه الاستراتيجيات، ينبغي استنباط تدابير مناسبة وفعالة للتصدي للحوادث. وتشمل هذه التدابير إدخال تعديلات على المحطة، وهي تعديلات تعتبر هامة للتصدي للحوادث العادية والحوادث العنيفة غير المحتاط لها في التصميم، والإجراءات المتعلقة بالموظفين. وتشمل هذه التدابير إصلاح المعدات المعطَّلة. وينبغي إعداد إرشادات مناسبة تكون في شكل إجراءات ومبادئ توجيهية للموظفين المسؤولين عن تنفيذ تدابير التصدي للحوادث.

وعند وضع إرشادات بشأن التصدي للحوادث، ينبغي إيلاء الاعتبار للقدرات التصميمية الكاملة للمحطة، باستخدام نظم الأمان وغير الأمان، وإدراج إمكانية استخدام بعض النظم خارج وظيفتها المستهدفة أصلا وظروف تشغيلها المنتظرة، وربما خارج أساسها التصميمي. وينبغي تحديد النقطة التي يتم عندها انتقال المسؤولية والسلطة من المجال الوقائي إلى المجال التخفيفي وينبغي أن تستند هذه النقطة إلى معايير محددة وموثّقة بشكل سليم.

وفيما يتعلق بأي تغيير في التكوين النسقي للمحطة أو إذا أُتيحت نتائج جديدة مستمدة من البحوث بشأن الظاهرة الفيزيائية، فإنَّه ينبغي فحص الآثار المترتبة على إرشادات التصدي للحوادث، وينبغي إذا لزم الأمر إجراء مراجعة لإرشادات التصدي للحوادث.

وساهم النطاق المحدود لمتطلبات الهيئة الرقابية فيما يتعلق بالحوادث غير المحتاط لها في التصميم في عدم نظر مشغلي المحطات بصورة ملائمة في المخاطر ذات الصلة. وقد سُلِّط الضوء على هذه المسألة خلال بعثة الوكالة في حزيران/يونيه ٢٠٠٧ في إطار خدمة الاستعراضات الرقابية المتكاملة، والتي خلصت إلى "عدم وجود لوائح قانونية للنظر في الحوادث غير المحتاط لها في التصميم، لأن المحطات اليابانية تعتبر آمنة بصورة كافية لأنها مضمونة بتدابير وقائية" [51]. فعلى سبيل المثال، لم تطلب عملية الاستعراض الدوري للأمان في اليابان من المنظمات المشغلة أن تحدِّث تحليلاتها لاستعمال أحدث التقنيات [52].

ويفترض برنامج التصدي للحوادث الخاص بشركة تيبكو أنه ستتم استعادة القوى الكهربائية المولَّدة بالتيار المتناوب بسرعة في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وافترضت شركة تيبكو كذلك أن مستلزمات ضرورية أخرى، مثل القوى الكهربائية المولَّدة بالتيار المباشر والهواء العالي الضغط، ستكون متاحة في جميع الأوقات لتوفير قوى كهربائية للأجهزة وإتاحة تشغيل الصمامات. ولم يشمل البرنامج ولا المبادئ التوجيهية احتمال أن يؤثِّر أي حادث عنيف في عدة وحدات من المفاعل في وقت واحد أو إمكانية مواجهة صعوبات في تلقي الدعم من خارج الموقع جراء الاختلالات الشديدة التي أصابت البنية الأساسية خارج الموقع. وكان هذا النهج متماشيًا مع الممارسة الدولية النموذجية آنذاك. وأوضح الحادث أن تشغيل بعض النظم في ظروف الحوادث غير المحتاط لها في التصميم هي نظم تستدعي ومهارات عالية بشكل استثنائي من جانب المشغلين بغية الحفاظ على وظائف الأمان الأساسية.

وتشمل الإرشادات الموجودة بشأن التصدي للحوادث في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية مجموعة من الوثائق يستخدمها المشغلون، بما في ذلك إجراءات التشغيل في حالات الطوارئ والمبادئ التوجيهية في التصدي للحوادث العنيفة. وقد كانت هناك مبادئ توجيهية للتصدي للحوادث متاحة ليستخدمها موظفو الدعم التقني العاملون في شركة تيبكو في الجهاز المسؤول عن التصدي للطوارئ. وتشمل هذه الوثائق مجتمعة مجموعة من عمليات التصدي للحوادث المحتاط لها في التصميم والحوادث غير المحتاط لها في التصميم، بما في ذلك الحوادث العنيفة. وجعل غياب التيار الكهربائي وغياب معلومات كافية حول حالة المحطة من الصعب على المشغلين التصدي بفعالية للأحداث الجارية. ولم تشمل المبادئ التوجيهية للتصدي للحوادث الحالات الطارئة لفقدان الأجهزة اللازمة لعرض البارامترات الرئيسية التي تمكن المشغلين من تحديد حالة محطة القوى النووية. وبالإضافة إلى ذلك، لم تنص المبادئ التوجيهية على توصيات بشأن التصدي للحوادث عندما تكون جميع نظم التوزيع الكهربائي ذات الصلة بالأمان وفي وقت لاحق العديد من نظم الأمان المعتمدة عليها غير صالحة للعمل.

ولم يتلق الموظفون تدريبات على تنفيذ إجراءات التصدي للحوادث في ظل ظروف انقطع فيها التيار الكهربائي في المحطة لفترات طويلة أو في ظل ظروف كانت فيها المعلومات محدودة أو غير موجودة. ورغم هذا الوضع، اضطلع موظفو التشغيل بأنشطتهم بشكل سليم في ظل الظروف القاسية التي تسبب فيها الحادث. ولكن العجز عن الحصول على معلومات جوهرية بشأن حالة المحطة وضرورة استنباط إجراءات تخفيفية أعاق التصدي للحادث. كما ساهم عدم وجود متطلبات التصدي للحوادث العنيفة في الإطار الرقابي في عدم استعداد شركة تيبكو. ونشرت لجنة الأمان النووي دليلاً بشأن التصدي للحوادث في عام ١٩٩٢ [23]، وفي السنة ذاتها، نشرت وزارة التجارة والصناعة الدولية خريطة طريق بشأن التصدي للحوادث. وطلبت الوزارة كذلك من الهيئات المشغلة النووية أن تتخذ إجراءات للتصدي للحوادث الأعنف من الحوادث التي يراعيها التصميم الأصلي. ولكن لم يكن هذا الأمر متطلبًا إلزاميًا، وأدى إلى اتخاذ الهيئات المشغلة النووية إجراءات طوعية محدودة. واقترحت البعثة الدولية للوكالة إلى اليابان في عام ٢٠٠٧ في إطار خدمة الاستعراضات الرقابية المتكاملة الحاجة إلى وضع متطلبات رقابية للحوادث غير المحتاط لها في التصميم، كما اقترحت بأن تواصل وكالة الأمان النووي والصناعي وضع نهج منهجي للنظر في مثل هذه الأحداث، وكذلك في الاستخدام المكمل للتقييم الاحتمالي للأمان والتصرف في الحوادث العنيفة [51]. ولم تُحفِّز اقتراحات البعثة الاستعراضية بذل جهود إضافية في هذا المجال.

٢-٢-٥- تقييم الفعالية الرقابية

نُفِّذ التنظيم الرقابي للأمان النووي في اليابان في وقت وقوع الحادث من طرف عدد من الهيئات التي تضطلع بأدوار ومسؤوليات مختلفة وتربطها علاقات متبادلة معقَّدة. ولم يكن واضحًا تمامًا أي الهيئات لها مسؤولية وسلطة إصدار تعليمات ملزمة بشأن كيفية معالجة قضايا الأمان بدون تأخير.

وقد كان برنامج التفتيش الرقابي مُنظَّما بشكل صارم، مما أضعف قدرة الهيئة الرقابية على التحقق من الأمان في الأوقات المناسبة وتحديد قضايا الأمان الجديدة المحتملة.

ولم تكن اللوائح والمبادئ التوجيهية والإجراءات القائمة في وقت وقوع الحادث متسقة تمامًا مع الممارسة الدولية في بعض المجالات الرئيسية، وأهمها المجالات المتعلقة باستعراضات الأمان الدورية، وإعادة تقييم المخاطر، والتصدي للحوادث العنيفة، وثقافة الأمان.

وفي الإطار الرقابي الساري في اليابان فيما يتعلق بالأمان النووي في وقت وقوع الحادث، كانت الحكومة قد سنَّت قوانين واستكملتها بقوانين ومراسيم وزارية ونظم أساسية فرعية. ويظهر الإطاران ٢-٨ و٢-٩ الهيكل العام للإطار التشريعي والرقابي في وقت وقوع الحادث. وكان الهيكل الرقابي في اليابان في وقت وقوع الحادث يتألف من عدد من الإدارات الحكومية والهيئات الأخرى التي تضطلع بمسؤوليات عن الأمان النووي. وقد تم تنقيح الهيكل مرتين في أعقاب الحادثة الإشعاعية التي وقعت على متن السفينة موتسو العاملة بالقوى النووية في عام ١٩٧٤ وحادث الحرجية الذي وقع في المرفق الياباني لتحويل الوقود النووي في توكايمورا في عام ١٩٩٩، ولكن لم تُعالَج بعض القضايا الجوهرية المتعلقة بوضوح الأدوار والمسؤوليات [54 ,53]. وذكرت بعثة الوكالة في عام ٢٠٠٧ في إطار خدمة الاستعراضات الرقابية المتكاملة وجود حاجة إلى تحسين وتنقيح وتوضيح عدد من الجوانب الرقابية [51]، مثل اللوائح المتعلقة بمعالجة الحوادث غير المحتاط لها في التصميم وتوضيح أدوار ومسؤوليات وكالة الأمان النووي والصناعي ولجنة الأمان النووي في اليابان داخل النظام الرقابي الياباني.

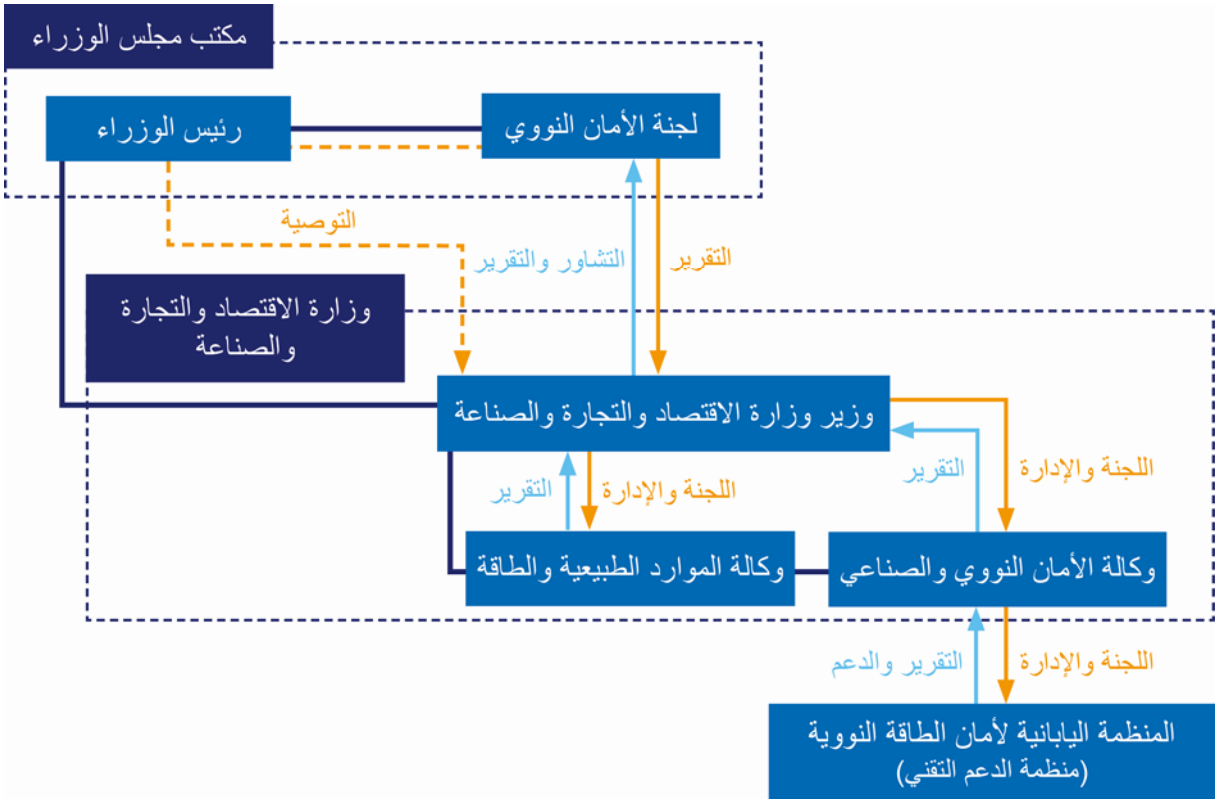
وكانت وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة مسؤولة عن السياسة المعنية بتطوير واستخدام الطاقة النووية، وكذلك عن تنظيم المنشآت النووية التجارية. وكانت وكالة الموارد الطبيعية والطاقة، داخل الوزارة المذكورة، مسؤولة عن الإشراف على الإمدادات الوطنية من الطاقة، بما في ذلك الترويج للطاقة النووية. وأُنشئت وكالة الأمان النووي والصناعي في عام ٢٠٠١ باعتبارها وكالة خاصة تابعة لوكالة الموارد الطبيعية والطاقة وأُسندت إليها مسؤولية الهيئة الرقابية المعنية بالأمان النووي. ونصَّ القانون على أنه في حال وجود تضارب بين الأمان والترويج، ينبغي أن يُعطي وزير وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة الأولوية للأمان. ووضعت وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة خطتها الاستراتيجية الوطنية استنادًا إلى هذا التحديد للأولويات، وخلصت بعثة الوكالة في عام ٢٠٠٧ في إطار خدمة الاستعراضات الرقابية المتكاملة إلى أنَّ وكالة الأمان النووي والصناعي مستقلة بشكل فعال عن وكالة الموارد الطبيعية والطاقة في اتخاذ قراراتها الرقابية. ولكن البعثة اقترحت كذلك أن تعبِّر التشريعات بوضوح أكثر عن استقلالية وكالة الأمان النووي والصناعي عن وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة.

ولوزارة التربية والثقافة والرياضة والعلوم والتكنولوجيا كذلك مسؤوليات رقابية منها الإشراف على الوقاية من الإشعاعات وضمانات المواد النووية في محطات القوى النووية، ومفاعلات البحوث وبعض مرافق البحث والتطوير لأغراض القوى النووية. وأشرفت الوزارة كذلك على المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية التابع للوكالة اليابانية للطاقة الذرية.

وكانت لجنة الأمان النووي، الواقعة في مكتب مجلس رئيس الوزراء والتابعة له، هيئة مستقلة لها دور استشاري ودور إشرافي في إطار التنظيم الرقابي النووي. وقد وضعت وأصدرت وثائق السياسات المتعلقة بالأمان النووي والأدلة الرقابية التي كانت وكالة الأمان النووي والصناعي تستخدمها في عملها الرقابي. وكانت لجنة الأمان النووي مخوَّلة بموجب القانون مطالبة وكالة الأمان النووي والصناعي بتقديم تقارير وكانت تشرف على عملها. وكان لها أيضا موظفون تابعون لها للاضطلاع باستعراضات مستقلة وإجراء تقييمات لطلبات الحصول على ترخيص لمحطة القوى النووية ولإعادة تأكيد الاستنتاجات التي توصلت إليها وكالة الأمان النووي والصناعي. وذكرت بعثة الوكالة في عام ٢٠٠٧ في إطار خدمة الاستعراضات الرقابية المتكاملة أنَّ دور وكالة الأمان النووي والصناعي بصفتها هيئة رقابية فيما يتصل بلجنة الأمان النووي يحتاج إلى توضيح.

وأضافت أن وكالة الأمان النووي والصناعي تتلقى الدعم من المنظمة اليابانية لأمان الطاقة النووية التي أُنشئت في عام ٢٠٠٣ بمقتضى قانون سُنَّ في عام ٢٠٠٢ [51]. وانطوت الوظائف الرئيسية للمنظمة اليابانية لأمان الطاقة النووية على إجراء عمليات تفتيش في المرافق النووية، واستعراض عمليات التفتيش الدورية للمرخص لهم، وتقديم الدعم للتأهب للطوارئ النووية وتنسيق مشاريع البحوث ذات الصلة بالأمان. وتدعو الحاجة إلى وضع برنامج تفتيش شامل لكي يتسنى لأي هيئة رقابية القيام على نحو مستقل بتحديد قضايا الأمان في المحطة. وفي وقت وقوع الحادث في اليابان، ورغم الجهود التي بذلتها وكالة الأمان النووي والصناعي [56]، فإنَّ عمليات التفتيش كانت منظَّمة بشكل صارم بحسب النوع والتردد اللذين يحددهما القانون. وفي عام ٢٠١١، ذكر تقرير اليابان بموجب اتفاقية الأمان النووي أن أنشطة المشغلين في مجال إدارة الأمان كانت خاضعة لعمليات التفتيش بشأن الأمان التشغيلي التي وافقت عليها وكالة الأمان النووي والصناعي. وقد أجرت وكالة الأمان النووي والصناعي عمليات تفتيش فصلية للتحقق من امتثال المشغلين لاستعراضات الأمان الدورية. كما أُجريت عمليات تفتيش دورية من طرف وكالة الأمان النووي والصناعي والمنظمة اليابانية لأمان الطاقة النووية على فترات زمنية لا تتجاوز ١٣ شهرًا، وركَّزت على أنشطة المشغِّلين في صيانة هياكل محطات القوى النووية ونظمها ومكوِّناتها. وركَّزت هذه العمليات على هياكل ونظم ومكونات الأمان الهامة الخاصة على سبيل المثال بنظام إغلاق المفاعل، وحدود ضغط مواد تبريد المفاعل، ونظام إزالة الحرارة المتبقية، ونظام الاحتواء. وتمثلت هذه الإجراءات الرقابية، إلى جانب ما يقوم به المشغلون من جولات موقعية وإدارة الصيانة في المنشآت النووية، في تقييمات الأمان الدورية والتقديرات التقنية المتعلقة بتقادم محطات القوى النووية. ولدى وكالة الأمان النووي والصناعي قدرة محدودة على توسيع نطاق عمليات التفتيش خارج النطاق المحدَّد قانونًا، مما يجعل قدرتها تقتصر على تحديد أوجه القصور والانحرافات وضمان الاستفادة من الدروس المستخلصة [51]. وأدى هذا النهج إلى الحد من فعالية التفتيش الرقابي في تحديد قضايا الأمان والتحقق من أمان أنشطة المرخص لهم ومن امتثالهم للمتطلبات.

الشكل ٢-٨- الإطار التشريعي والرقابي لأمان المنشآت النووية في اليابان في وقت وقوع الحادث [55].



الشكل ٢-٩- موقع وكالة الأمان النووي والصناعي في الحكومة اليابانية.

وأصدرت لجنة الأمان النووي سلسلة من المبادئ التوجيهية التي اعتُبرت، في الممارسة العملية، على أنها متطلبات [34]. واستُكملت هذه المبادئ التوجيهية بمعايير توافق الآراء التي أصدرتها الجمعيات المهنية والأكاديمية. ولكن اللوائح والمبادئ التوجيهية في بعض المجالات الرئيسية لم تكن تتماشى تمامًا مع الممارسة الدولية في وقت وقوع الحادث. وارتبطت أبرز الاختلافات باستعراضات الأمان الدورية، وإعادة تقييم المخاطر، والتصدي للحوادث العنيفة، وثقافة الأمان [52, 57, 58].

ويقدِّم استعراض الأمان الدوري آلية رسمية لكي يقوم المرخص لهم والهيئة الرقابية بإعادة النظر في التصميم والمخاطر الخارجية على ضوء المعلومات الجديدة والمعايير والتكنولوجيا الحالية [52]. وفي اليابان، نصت التشريعات التي صدرت في عام ٢٠٠٣ [51] على إجراء استعراضات دورية للأمان كل عشر سنوات ، ولكن هذه الاستعراضات كانت محدودة النطاق ولم تكن تتماشى تمامًا مع الممارسة الدولية لأنَّها لم تكن تقتضي إعادة فحص المخاطر الخارجية [51, 52, 58].

وأشارت بعثة الوكالة في عام ٢٠٠٧ في إطار خدمة الاستعراضات الرقابية المتكاملة إلى أن وكالة الأمان النووي والصناعي ينبغي أن تكون في وضع يمكنها من القيام بمساهمة رئيسية في وضع لوائح الأمان. وذكرت البعثة كذلك أن وكالة الأمان النووي والصناعي تحتاج إلى أن تكون قادرة على تعديل برنامجها الخاص بالتفتيش بأسلوب مرن من أجل تحقيق المستوى الأمثل من الفعالية والتركيز وأن تكون قادرة على إجراء عمليات التفتيش بشأن الأمان في مواقع وأوقات وفقًا لتقديرها [51]. وأشارت بعثة الوكالة في إطار خدمة الاستعراضات الرقابية المتكاملة كذلك إلى أن وكالة الأمان النووي والصناعي تدعم إقامة علاقات صريحة ومفتوحة مع الصناعة النووية والمنظمات المشغلة، من أجل إيصال أوجه القلق الرقابية مباشرة إلى مستوى الإدارة.

في أيلول/سبتمبر ٢٠١٢، أُنشئت الهيئة الرقابية النووية [59]. وأجرت الهيئة الرقابية النووية استعراضًا للمبادئ التوجيهية والمتطلبات الرقابية في مجال الأمان بهدف صياغة لوائح جديدة لوقاية الناس والبيئة. وفي عام ٢٠١٣، دخلت المتطلبات الرقابية الجديدة المتعلقة بمحطات القوى النووية حيز النفاذ. واستنادًا إلى مفهوم الدفاع في العمق، وُضعت أهمية على المستويين الثالث والرابع وعلى الوقاية من فقدان جميع وظائف الأمان في وقت واحد نتيجة أسباب مشتركة. وأُعيد تقييم الافتراضات السابقة بشأن أثر الزلازل والتسونامي والأحداث الخارجية الأخرى، مثل الانفجارات البركانية والأعاصير وحرائق الغابات، وتم النظر في التدابير الخاصة بالأمان النووي المضادة لهذه الأحداث الخارجية. وتم النظر كذلك في التدابير المضادة للحرائق الداخلية والفيضانات الداخلية وفي إدخال تعزيزات لموثوقية القوى الكهربائية داخل وخارج الموقع للتعامل مع إمكانية انقطاع التيار الكهربائي في المحطة.

وبالإضافة إلى ذلك، استدعى الأمر أيضًا اتخاذ تدابير خاصة بالتصدي للحوادث العنيفة ضد الأضرار التي تلحق بقلب المفاعل وبأوعية الاحتواء وانتشار المواد المشعة، واتخاذ تدابير معززة لضخ الماء في أحواض الوقود المستهلك، واتخاذ تدابير مضادة فيما يتعلق بتحطم الطائرات، وتشييد مبنى للتصدي للطوارئ.

وتنطوي الأمثلة عن المتطلبات الرقابية الجديدة على ضوء الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية على ما يلي: (١) تعزيز المتطلبات المتعلقة بمقاومة الزلازل/التسونامي ؛ (٢) وتعزيز المتطلبات أو إدراج متطلبات جديدة فيما يتعلق بالأساس التصميمي؛ (٣) وإدراج متطلبات جديدة فيما يتعلق بتدابير الوقاية من الحوادث العنيفة [60].

وأُدرِجت ضمن الهيئة الرقابية النووية الأدوار والمسؤوليات التي كانت تُسنَد سابقًا لمنظمات حكومية مختلفة. وتتمتع الهيئة الرقابية النووية بولاية قضائية على بعض أنشطة المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية والوكالة اليابانية للطاقة الذرية. وقد أُدمجت المنظمة اليابانية لأمان الطاقة النووية، وهي المنظمة الرئيسية التي تُقدم الدعم التقني في مجال الأمان النووي، مع الهيئة الرقابية النووية في ١ آذار/مارس ٢٠١٤.

واعتمدت الهيئة الرقابية النووية عملية استعراضية دورية وفقاً لمعايير الأمان الصادرة عن الوكالة دخلت حيز النفاذ في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣. ويتطلب النظام تراخيص لمفاعلات القوى النووية لإجراء تقييم شامل لأمان المفاعلات ولتقديم النتائج إلى الهيئة الرقابية النووية في غضون ستة أشهر من نهاية التفتيش الدوري، والتي تبين ما يلي:

- الامتثال للمتطلبات الرقابية؛
- تدابير تحسين الأمان على أساس طوعي؛
- تقييم ومراجعة هوامش الأمان لتحسينها وتقييم المخاطر الاحتمالية؛
- إعادة تقييم شامل على أساس النتائج المذكورة أعلاه وخطط العمل من أجل تحسين الأمان.

وطلبت اليابان من الوكالة أن تجري بعثة في إطار خدمة الاستعراضات الرقابية المتكاملة في أواخر عام ٢٠١٥، بهدف تعزيز الأمان النووي وتحسين كفاءة الهيئة الرقابية النووية باعتبارها هيئة مستقلة مسؤولة عن الرقابة النووية عبر عملية تعلُّم متواصلة وشفافة ومنفتحة.

٢-٢-٦- تقييم العوامل البشرية والتنظيمية

قبل وقوع الحادث، كان هناك افتراض أساسي في اليابان بأن تصميم محطات القوى النووية وتدابير الأمان التي وُضعت في هذا الصدد لم تكن متينة بما فيه الكفاية لكي تتحمّل الأحداث الخارجية الضعيفة الاحتمال والشديدة العواقب.

ونظرًا للافتراض الأساسي بأنَّ محطات القوى النووية في اليابان كانت آمنة، فقد كان هناك اتجاه لدى المنظمات وموظفيها يميل إلى عدم الطعن في مستوى الأمان. وأسفر انتشار الافتراض الأساسي فيما بين الجهات المعنية حول متانة التصميم التقني لمحطات القوى النووية عن وجود حالة لم تدخل فيها تحسينات الأمان بسرعة.

وأظهر حادث محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية أنه من أجل تحديد نقاط الضعف بأسلوب أفضل في المحطة، من الضروري اتباع نهج متكامل يراعي التفاعلات المعقدة بين الأشخاص والمنظمات والتكنولوجيا.

وقبل وقوع الحادث، لم يتم النظر بما فيه الكفاية في الأحداث الخارجية المنخفضة الاحتمال والشديدة العواقب والتي ظلَّت خارج نطاق الكشف عنها. وكان السبب في ذلك يعود بالأساس للافتراض الأساسي السائد في اليابان، والذي تعزَّز على مدى عقود طويلة، بأن متانة التصميم التقني للمحطات النووية ستكون كافية للوقاية من المخاطر المفترضة. ونتيجة لذلك، كانت الأحداث التي أفضت إلى الحادث في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية خارج حدود الافتراضات الأساسية للمنظمات المشغلة والهيئة الرقابية والحكومة. وقد أثَّرت هذه الافتراضات الأساسية في قرارات وإجراءات مجموعة واسعة من الجهات المعنية، ولم تقتصر على الجهات المشاركة مباشرة في تشغيل محطات القوى النووية وفي تنظيمها الرقابي.

الإطار ٢-٩- ثقافة الأمان

يعرِّف المنشور INSAG-4 ثقافة الأمان على النحو التالي: "مجموعة الخصائص والمواقف المعينة لدى المنظمات والأفراد التي تضمن أن قضايا أمان المحطات النووية تلقى ما تستحقه من عناية بسبب أهميتها وباعتبار أن لها أولوية طاغية ." [61]

ويوضِّح العدد GS-G-3.5 من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة [62] والعدد ١١ من سلسلة تقارير الأمان [63] أنَّ ثقافة الأمان هي في حد ذاتها جزء من ثقافة المنظمة ككل، حيث تشتمل هذه الأخيرة على مزيج من القيم والمواقف وأنماط السلوك المشتركة التي تعطي إلى المنظمة طابعها الخاص.

وعادة ما تمر المنظمات بعدد من المراحل في تطوير وتعزيز ثقافة الأمان. ويحدِّد العدد ١١ من سلسلة تقارير الأمان ثلاث مراحل، هي:

(١) الأمان دافعه هو الامتثال وقوامه الأساسي هو القواعد واللوائح. وفي هذه المرحلة، يُنظر إلى الأمان على أنه مسألة تقنية، مع اعتبار الامتثال للقواعد واللوائح المفروضة من الخارج مسألة ملائمة للأمان.

(٢) يصبح أداء الأمان الجيد هدفًا تسعى المنظمة إلى تحقيقه ويتم التعامل معه في المقام الأول من حيث أغراض أو أهداف الأمان.

(٣) يُنظر إلى الأمان على أنه عملية تحسين مستمرة يمكن للجميع المساهمة فيها.

وهذه المراحل الثلاث غير منفصلة عن بعضها بعض في الواقع ويمكن لأي منظمة أن يكون لها أجزاء قبل غيرها من المنظمات في عملية تعزيز ثقافة الأمان.

وقد أثَّرت الافتراضات الأساسية في عدم ممارسة وكالة الأمان النووي والصناعي السلطة الكافية، لذلك لم تتمكَّن هذه الوكالة من الطعن في الافتراضات الأخرى المتعلقة بالأمان النووي. وحال ذلك دون قيامها بدورها الإشرافي بسبب عدم وجود إطار رقابي مناسب وكذلك بسبب العوائق القانونية الصريحة [6, 51]. فعلى سبيل

المثال، وجدت بعثة الوكالة الدولية للطاقة الذرية في عام ٢٠٠٧ في إطار خدمة الاستعراضات الرقابية المتكاملة أنَّ مفتشي وكالة الأمان النووي والصناعي لا يتمتعون بحق غير مقيَّد في معاينة مرافق المرخص لهم من أجل إجراء عملياتهم التفتيشية وبأنه سُمح لهم فقط بإجراء عملياتهم التفتيشية خلال أوقات معينة فقط. ونظرًا للافتراض الأساسي بأنَّ متانة التصميم التقني قد توفِّر الوقاية الكافية من المخاطر المفترضة، فإنَّ وكالة الأمان النووي والصناعي كانت تعمل عمومًا بأسلوب أقل تكاملية وأكثر تفاعلية، وكانت تركز في بعض الأحيان على الأنشطة القصيرة الأمد، ولم تتناول القضايا الأهم والأطول أمداً، مثل النظر في معايير الأمان الصادرة عن الوكالة وتطبيقها. وفي بعض الحالات، لم يتم تحديث اللوائح ولا إجراء تمارين معقدة على الطوارئ نظرًا لوجود قلق من أن يتكوَّن لدى الجمهور انطباع بأن محطات القوى النووية ليست آمنة على عكس الافتراض الأساسي [5].

كما أنَّ الافتراض الأساسي نفسه القائل بأنَّ محطات القوى النووية هي آمنة قد أثَّر في إجراءات شركة تيبكو إذ أكسبها ذلك ثقة في قدرة السمات التقنية للمحطات في تفادي الحوادث النووية العنيفة. وأسفر ذلك في أنَّ شركة تيبكو لم تكن مستعدة بما فيه الكفاية للتخفيف من حدة الحادث الذي وقع في آذار/مارس ٢٠١١ [6, 7, 65]. فقد كان احتمال أن تؤدي الفيضانات إلى وقوع حادث نووي خارج نطاق الافتراض الأساسي، وبالتالي لم يتم دائماً اتباع أحدث الإرشادات الدولية بشأن التصدي للحوادث العنيفة [66]. كما أنَّ الافتراض الأساسي أدى كذلك إلى استبعاد إمكانية أن يؤدي عطل مشترك السبب إلى انقطاع التيار الكهربائي في المحطة فيما يتعلق بوحدات متعددة.

وكون المنظمات ذات الصلة وموظفيها لم يطعنوا في الافتراضات الأساسية حول الأمان النووي ولا أعادوا فحصها يُبيِّن وجود نقص في ثقافة الأمان. وكما هو محدد في الإطار ٢-٩، فإن المرحلة الثالثة من برنامج ثقافة الأمان تحدِّد الحاجة إلى وجود عملية مستمرة من التحسينات ينبغي أن تشمل إعادة النظر دوريًا في مدى ملاءمة الأمان النووي. ومن بين أساليب الطعن في الافتراضات الأساسية اتباع نهج نظامي إزاء الأمان النووي لفهم تعقد المجموعة الكاملة من التفاعلات بين العوامل البشرية والتنظيمية والتقنية. وقد كان عدم معالجة هذه التفاعلات بما فيه الكفاية من بين العوامل التي ساهمت في وقوع الحادث، لأنَّه لم يتم الكشف عن الافتراض الأساسي.

الإطار ٢-١٠- الافتراضات الأساسية [64]

لفهم ثقافة الأمان بكل جوانبها، يجب تحديد العوامل الاصطناعية والسلوك والقيم المعتمدة والافتراضات الأساسية التي تشكل المستويات الثلاثة من مفهوم الثقافة بحسب انطباقها على الأمان. وتطبيق النموذج الثلاثي المستويات على منظمة معيَّنة قد يعبِّر عن تفرد تلك المنظمة، ويسمح بإقامة روابط منطقية بين العوامل الاصطناعية والقيم المعتمدة والافتراضات الأساسية. ولن تكون الروابط المنطقية واضحة في الأمثلة التوضيحية الواردة أدناه، لأنها غير مستمدة من أي منظمة معيَّنة.

والعوامل الاصطناعية هي أسهل شيء يمكن ملاحظته ولكن معناها هو أصعب شيء يمكن تفسيره. وستساعد معرفة القيم المعتمدة في فهم المعنى، ولكن معنى المكوِّنات على مستوى العوامل الاصطناعية لن يصبح واضحًا إلا إذا فُهمت الافتراضات الأساسية.

العوامل الاصطناعية والسلوك: المعمار وطقوس التحية واللباس وأشكال المخاطبة – عوامل مرئية؛

القيم المعتمدة: الاستراتيجيات والأهداف والفلسفات – يمكن استنباطها؛

الافتراضات الأساسية: الطبيعة البشرية، وعلى أساسها يحظى الناس بالاحترام - تُفترض بدون وعي وتكون عادة ضمنية.

وتكمن الافتراضات الأساسية في أعمق مستويات الثقافة. وهي معتقدات جوهرية تعتبر أمرًا مسلَّمًا به لدرجة أنَّ معظم الناس في أي مجموعة ثقافية يؤمنون بها ولكن بلا وعي منهم. ولفهم أي ثقافة، من الضروري اكتشاف هذه الافتراضات الأساسية السارية. وفي حالة أي منظمة، ستُجسِّد هذه الافتراضات أيضًا تاريخها وقيمها ومعتقداتها وافتراضات مؤسسيها وقادتها الرئيسيين الذين عملوا على جعلها منظمة ناجحة. ونادرًا ما تُناقش الافتراضات الأساسية وتواجَه ومن الصعب تغييرها.

الإطار ٢-١١- النهج النظامي للأمان [67]

يتناول النهج النظامي للأمان النظام برمته عن طريق النظر في التفاعلات الدينامية داخل جميع العوامل ذات الصلة الخاصة بالنظام وفيما بينها - أي العوامل الفردية (مثل المعارف والأفكار والقرارات والإجراءات)، والعوامل التقنية (مثل التكنولوجيا والأدوات والمعدات)، والعوامل التنظيمية (مثل النظام الإداري، والهيكل التنظيمي، والحوكمة، والموارد).

ويعمل النهج النظامي للأمان عن طريق معالجة هذا النظام المعقد من التفاعلات ككل. وعلى سبيل المثال، من بين العوامل الهامة للنظر في هذه التفاعلات في أي محطة للقوى النووية، ثمة العوامل المتعلقة بالأفراد، كالمعارف والقرارات والأفكار والعواطف والإجراءات. وتشمل العوامل التقنية الجوانب المادية من محطة القوى النووية ونطاق الأدوات والمعدات التقنية المستخدمة لتشغيلها. وتشمل العوامل التنظيمية النظام الإداري والهيكل التنظيمي والحوكمة داخل المحطة والموارد البشرية والمالية. وعند أخذ التفاعل بين جميع العوامل الفردية والتقنية والتنظيمية في عين الاعتبار يتضح أنَّ العمليات في محطة القوى النووية هي عمليات معقدة وغير مستقيمة. ومن الضروري التوصل بأسلوب أفضل إلى دراسة الوسائل التي تؤثِّر فيها نقاط ضعف ونقاط قوة جميع هذه العوامل في بعضها بعض من أجل المبادرة مسبقًا إلى تقليص أو استبعاد الأخطار.

وأدى ميول غالبية الجهات المعنية إلى عدم الطعن في مدى ملاءمة سمات الأمان القائمة للمحطة إلى تعزيز افتراض أن متانة التصميم التقني للمحطة وسمات الأمان القائمة ستكون كافية لحماية المحطة. وأدى ذلك إلى عدم إدخال تحسينات الأمان اللازمة بشكل استباقي وبسرعة [7-5].

أما المشغلون الذين تصدوا للحادث مباشرة في المراحل المبكرة من وقوعه فقد قاموا بذلك في ظل ظروف قاسية. فقد كان الخوف والقلق المصاحب لأعمالهم يتفاقم بسبب عدم حصولهم في غالب الأحيان على معلومات حول سلامة أسرهم أو حالة منازلهم. ولم يكن الأشخاص في الموقع يعرفون كيف سيتطوَّر الحادث، مما خلق حالة من عدم التيقن الكبير، ورغم ذلك فقد بذلوا قصارى جهدهم لحماية الناس والبيئة. وكان الوضع الذي واجهه المشغلون غير مسبوق للتصدي لحادث ضرب وحدات متعددة خلال أزمة وطنية تعرضت فيها البنية الأساسية إلى أضرار بالغة. وأدى ذلك إلى خلق بيئة عمل سلبية للغاية من المنظورين الجسدي والنفسي.

ويحدث تفاعل العوامل البشرية والتنظيمية والتقنية داخل جميع منظمات الجهات المعنية وبين مختلف المستويات داخل كل منظمة ضمن النطاق الأوسع لثقافة الأمان داخل المنظمة، وهو يُعبِّر على هذا النحو عن ثقافة الأمان داخل المنظمة. وباتباع نهج نظامي إزاء الأمان يُحلِّل العوامل البشرية والتنظيمية والتقنية، تستطيع أي منظمة أن تستعد بأسلوب أفضل لأي حادث غير متوقع. وسيعتمد الأمان النووي كذلك على مواقف الناس وسلوكهم [67]. والعوامل البشرية والتنظيمية التي التي تؤدي إلى افتراضات أساسية عن الأمان دون تحديها، قد تدفع المنظمات والأفراد إلى اتخاذ قرارات والقيام بإجراءات يمكن أن تقوِّض بدون قصد الأمان النووي. ومن الضروري إدراك مثل هذه الافتراضات الأساسية والعمل على فهم تأثيرها في الأمان النووي.

٢-٣- الملاحظات والدروس

تم تجميع عدد من الملاحظات والدروس كنتيجة لتقييم اعتبارات الأمان النووي الخاصة بالحادث.

— **من الضروري أن يكون التقييم الذي يجري للمخاطر الطبيعية تقييمًا متحفظًا بما فيه الكفاية. ولا يكفي النظر في البيانات التاريخية بالأساس في إرساء الأساس التصميمي لمحطات القوى النووية لتحديد خصائص أخطار المخاطر الطبيعية العنيفة. وحتى في حالة وجود بيانات شاملة، فإنه بسبب فترات الملاحظة القصيرة نسبيًا تظل هناك حالات عدم تيقن كبيرة في توقع المخاطر الطبيعية.**

يمكن للأحداث الطبيعية العنيفة التي يكون احتمال حدوثها ضعيفًا جدًا أن تسفر عن عواقب وخيمة، ويظل التنبؤ بالمخاطر الطبيعية العنيفة مسألة صعبة ومثيرة للجدل بسبب وجود حالات عدم التيقن. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتغيَّر هذه التنبؤات على مدى عمر محطة القوى النووية إذ تُتاح معلومات أكثر وتتحسَّن أساليب التحليل. ومن الضروري، بناء على ذلك، استخدام جميع البيانات ذات الصلة المتاحة،

على الصعيدين المحلي والدولي، لضمان التنبؤ بالمخاطر بشكل موثوق؛ وتحديد أساس تصميمي موثوق وواقعي في مواجهة الأحداث الطبيعية العنيفة، وتصميم محطات القوى النووية مع ترك هوامش أمان كافية.

— **من الضروري إعادة تقييم أمان محطات القوى النووية دوريًا من أجل النظر في أوجه التقدم في المعارف، ومن الضروري تنفيذ الإجراءات التصحيحية أو التدابير التعويضية اللازمة على وجه السرعة.**

لم يؤدي برنامج استعراض الأمان الدوري في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية إلى القيام بعمليات ارتقاء بالأمان استنادًا إلى المتطلبات الرقابية. وقد أعادت شركة تيبكو التقييم طواعية مع مراعاة أوجه التقدم الحاصلة في المعارف، بما يشمل المعلومات والبيانات الجديدة. وأمام تقدير منقَّح لخطر ما ويتجاوز هذا التقدير التنبؤات السابقة، من المهم ضمان أمان المنشأة عن طريق تنفيذ إجراءات تصحيحية مؤقتة قياسًا على التقدير الجديد للخطر وفي الوقت نفسه تقييم دقة القيمة المنقَّحة. وإذا تم تأكيد دقة التقدير الجديد للمخاطر، من الضروري أن تتفق المنظمة المشغلة والهيئة الرقابية حول جدول زمني وخطة عمل شاملة للقيام على وجه السرعة بمعالجة أسلوب مواجهة هذا المستوى الأعلى من المخاطر من أجل ضمان أمان المحطة.

— **من الضروري أن يراعي تقييم المخاطر الطبيعية احتمال وقوعها مجتمعة، إما في وقت واحد أو الواحدة تلو الأخرى، ويراعي آثارها المجتمعة في محطة القوى النووية. ومن الضروري كذلك أن يراعي تقييم المخاطر الطبيعية آثارها في الوحدات المتعددة في محطة القوى النووية.**

أثبت حادث فوكوشيما داييتشي أن هناك ضرورة للبحث بشكل كامل في احتمال وجود مجموعة من المخاطر الطبيعية التي تؤثِّر في وحدات متعددة في محطة القوى النووية. ومن الضروري مراعاة السيناريوهات المعقّدة التي تنجم عن وجود مجموعة من المخاطر الطبيعية عند دراسة تدابير التخفيف من حدة الحوادث وإجراءات التعافي.

— **من الضروري أن تضم برامج الخبرة التشغيلية الخبرة المستمدة من المصادر الوطنية والدولية على حد سواء. ومن الضروري أن تُنفَّذ على وجه السرعة تحسينات الأمان المحددة من خلال برامج الخبرة التشغيلية. ومن الضروري تقييم استخدام الخبرة التشغيلية دوريًا وبشكل مستقل.**

لم يسفر برنامج تقييم الخبرة التشغيلية في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية عن إحداث تغييرات في التصميم تأخذ في الحسبان الخبرات المحلية أو الدولية التي شهدت الفيضانات. ومن الضروري أن يكون استعراض الخبرة التشغيلية جزءًا موحدًا من عمليات الإشراف على المحطة، مع إيلاء الاعتبار للمصادر ذات الصلة، مثل نظام التبليغ عن الحادثات التابع للوكالة الدولية للطاقة الذرية ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي. وتحتاج الهيئات الرقابية إلى إجراء استعراضات مستقلة للخبرة التشغيلية الوطنية والدولية من أجل التأكد من أن المنظمات المشغلة تتخذ إجراءات ملموسة لتحسين الأمان.

— **يظل مفهوم الدفاع في العمق مفهوما ساريًا، ولكن تنفيذ المفهوم يحتاج إلى تعزيزه على جميع المستويات عن طريق توفير الاستقلالية الكافية والاحتياط والتنوع والوقاية من المخاطر الداخلية والخارجية. وهناك حاجة للتركيز ليس فقط على الوقاية من الحادث، وإنما أيضا على تحسين تدابير التخفيف.**

أثارت الفيضانات الناتجة عن التسونامي تحديات في آن واحد أمام المستويات الوقائية الثلاثة الأولى من الدفاع في العمق، مما أدى إلى حدوث أعطال مشتركة السبب في المعدات والنظم. وحتى عندما واجه المشغلون هذا الوضع، فقد تمكَّنوا من تطبيق استراتيجيات تخفيفية فعالة، وإن كانت متأخرة. ومن الضروري تعزيز جميع طبقات الدفاع في العمق المرتبطة بإجراءات الوقاية من الحوادث وإجراءات

التخفيف من حدتها، وذلك عن طريق توفير الاستقلالية الكافية والاحتياط والتنوع والوقاية لكي لا تواجه صعوبات في وقت واحد بسبب مخاطر خارجية أو داخلية ولا تكون عرضة لعطل مشترك الأسباب. ومن الضروري إعادة فحص تطبيق مفهوم الدفاع في العمق بشكل دوري على مدى عمر محطة القوى النووية للتأكد من أنَّ أي تغيير في سرعة التأثر بالأحداث الخارجية هو تغيير مفهوم وأن هناك تغييرات مناسبة تحدث وتُنفَّذ في التصميم. وهناك حاجة إلى معالجة المخاطر الخارجية العنيفة خلال استعراضات الأمان الدورية لأنَّ مثل هذه المخاطر يمكن أن تسفر عن أعطال مشتركة السبب من شأنها أن تقوِّض في وقت واحد العديد من مستويات الدفاع في العمق.

— **من الضروري أن تظل الأجهزة ونظم التحكم اللازمة خلال الحوادث غير المحتاط لها في التصميم جاهزة للتشغيل من أجل رصد البارامترات الأساسية لأمان المحطة وتسهيل عمليات تشغيل المحطة.**

لم يترك فقدان الأجهزة والتحكم خلال وقوع الحادث في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية أمام المشغلين سوى إشارات بسيطة عن الأوضاع الفعلية في المحطة. وترك فقدان الأجهزة ونظم التحكم أثرًا بالغًا في جهود منع وقوع حادث عنيف أو التخفيف من عواقبه. ومن الضروري القيام بحذر بتحديد مدى وطبيعة الأجهزة ونظم التحكم اللازمة، وفقًا لخصائص تصميم المحطة، بما في ذلك أحواض الوقود المستهلك. وتحتاج النظم إلى حمايتها حرصًا على أن تكون في متناول اليد عند الحاجة إليها. ويبيِّن ذلك أيضًا وجود حاجة إلى تحسين الاستراتيجيات لإتاحة التحكم يدويًا في المعدات الحيوية.

— **من الضروري توفير نظم تبريد متينة وموثوقة قادرة على العمل في ظروف الحوادث المحتاط لها وغير المحتاط لها في التصميم من أجل إزالة الحرارة المتبقية.**

في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، تمكَّن المشغِّلون في نهاية المطاف، بعد شيء من التأخير، من نشر أجهزة محمولة لضخ المياه داخل المفاعلات. ومن الضروري تأهيل واختبار نظم التبريد القائمة إما على معدات مركَّبة أو محمولة من أجل ضمان أدائها وظائفها ولكي يتسنى نشرها عند الحاجة.

— **هناك حاجة إلى ضمان وظيفة احتواء موثوقة فيما يتعلق بالحوادث غير المحتاط لها في التصميم من أجل منع الانبعاثات الكبيرة من المواد المشعة في البيئة.**

في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، أدى العطل الذي حصل في تهوية الاحتواء، ثم العطل الذي حصل بعد ذلك في مبنى المفاعل بسبب انفجار الهيدروجين، إلى انبعاث كمية كبيرة من المواد المشعة في البيئة. وتحتاج وظيفة الاحتواء إلى تقييمها من أجل ضمان مراعاة جميع المخاطر الممكنة في تصميم المعدات الرامية إلى صيانة سلامة نظام الاحتواء.

— **من الضروري إجراء تحليلات الأمان الاحتمالية والقطعية الشاملة لتأكيد قدرة أي محطة على مواجهة الحوادث السارية غير المحتاط لها في التصميم ولتوفير درجة عالية من الثقة في متانة تصميم المحطة.**

يمكن استخدام تحليلات الأمان من أجل تقييم واستحداث استراتيجيات للتصدي للحوادث غير المحتاط لها في التصميم ويجوز أن تشمل تلك التحليلات استخدام الأساليب القطعية والاحتمالية على حد سواء. وقد كانت دراسات التقييم الاحتمالي للأمان التي أُجريت فيما يتعلق بمحطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية محدودة النطاق ولم تنظر في إمكانية حدوث فيضانات من مصادر داخلية أو خارجية. وساهمت محدودية هذه الدراسات في النطاق المحدود للإجراءات المتاحة للمشغلين للتصدي للحادث.

— **من الضروري أن تكون ترتيبات التصدي للحوادث شاملة ومصممة بشكل جيد وحديثة. ومن الضروري أن تُستخلص استنادًا إلى مجموعة شاملة من الأحداث البادئة وظروف المحطات، ومن الضروري أيضا أن تراعي الحوادث التي تؤثر في العديد من الوحدات في المحطة المتعددة الوحدات.**

إنَّ إجراءات التصدي للحوادث المتاحة للمشغلين في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية لم تنظر في إمكانية وقوع حادث متعدد الوحدات، كما أنها لم توفِّر إرشادات فيما يتعلق بانقطاع القوى الكهربائية. ومن الضروري أن تستند ترتيبات التصدي للحوادث إلى تحليل يخص محطة بعينها ويجري باستخدام مزيج من الأساليب القطعية والاحتمالية. ومن الضروري أن تنظر إرشادات وإجراءات التصدي للحوادث في إمكانية وقوع أحداث في وحدات متعددة في وقت واحد وفي أحواض الوقود المستهلك. كما أنها تحتاج إلى أن تأخذ في الاعتبار إمكانية تعطل البنية الأساسية الإقليمية، بما في ذلك أوجه القصور البالغة في الاتصالات والنقل والمرافق. ومن الضروري كذلك أن تأخذ ترتيبات التصدي للحوادث في الاعتبار أفضل الإرشادات المتاحة من المجتمع الدولي وأن تحدِّثها دوريًا بإدراج معلومات جديدة.

— **من الضروري أن تتضمن التدريبات والتمارين وتدريبات الطوارئ الظروف التي يفترض أنها تفضي إلى وقوع حوادث عنيفة من أجل ضمان استعداد المشغلين أفضل استعداد ممكن. ومن الضروري أن يشمل ذلك محاكاة استخدام المعدات الفعلية التي يمكن نشرها في حالة التصدي لحادث عنيف.**

لم يتلق المشغلون في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية تدريبات محدَّدة بشأن كيفية تشغيل النظم يدويًا مثل مكثِّف فصل الوحدة ١ وسيارات الإطفاء كمصدر بديل لضخ المياه المخفضة الضغط. ومن الضروري إيلاء اهتمام خاص بتدريب الموظفين من أجل اتخاذ إجراءات في ظروف انقطاع كل القوى لفترات طويلة ووجود معلومات محدودة حول حالة المحطة وعدم وجود أي معلومات حول بارامترات الأمان الهامة. ومن الضروري أن تحاكي التدريبات والتمارين وتدريبات الطوارئ بأسلوب واقعي تطور الحوادث العنيفة، بما في ذلك وقوع حوادث في وقت واحد في وحدات متعددة في الموقع ذاته. ومن الضروري ألا تقتصر التدريبات والتمارين وتدريبات الطوارئ على موظفي التصدي للحوادث داخل الموقع فحسب، وإنما أيضًا على جميع المعنيين بالتصدي للحوادث خارج الموقع في المنظمة المشغلة، على المستويات المحلية والإقليمية والوطنية.

— **من أجل ضمان فعالية الإشراف الرقابي على أمان المنشآت النووية، من الضروري أن تكون الهيئة الرقابية مستقلة وأن تتمتع بسلطة قانونية وباختصاص تقني وبثقافة أمان قوية.**

لم يكن لوكالة الأمان النووي والصناعي السلطة الكافية لاتخاذ الإجراءات اللازمة، بما في ذلك إجراء عمليات التفتيش في المرافق الخاضعة للرقابة. ومن المهم أن تكون الهيئة الرقابية قادرة على اتخاذ قرارات مستقلة بشأن الأمان طيلة العمر التشغيلي للمنشآت. ولضمان هذه الاستقلالية في اتخاذ القرارات، يجب أن تكون الهيئة الرقابية هيئة مختصة ويجب أن تملك الموارد البشرية الكافية والسلطة القانونية المناسبة، بما في ذلك الحق في وقف التشغيل و/أو فرض إدخال تحسينات في الأمان على المنظمات المشغلة، ويجب أن تكون لديها الموارد المالية الكافية. وتحتاج الهيئة الرقابية إلى السلطة لكي تكيِّف برنامجها التفتيشي على ضوء معلومات الأمان الجديدة. ويجب عليها كذلك أن تكون قادرة على ضمان إجراء تقنيح دوري للمتطلبات الرقابية الوطنية والمبادئ التوجيهية المقابلة لتقييم أمان المنشآت النووية، وذلك وفقًا للتطورات العلمية والتقنية والخبرات التشغيلية والمعايير والممارسات الدولية.

— **من أجل ترويج وتعزيز ثقافة الأمان، من الضروري أن يطعن الأفراد والمنظمات أو يعيدوا النظر باستمرار في الافتراضات السائدة حول الأمان النووي وفي تأثيرات القرارات والإجراءات التي يمكن أن تمس الأمان النووي.**

يمكن أن يتوصَّل إلى ذلك الأفراد والمنظمات التي تتبنى موقفًا استفهاميًا من أجل تحديد طبيعة وحدود التهديدات المحتملة لافتراضاتهم المشتركة حول الأمان النووي. ومن الضروري إضفاء طابع مؤسسي

على الحوار المستمر داخل المنظمات وفيما بين مختلف المنظمات حول القضايا المتعلقة بالأمان النووي وأهميتها وتأثيرها في القرارات والإجراءات. ويمكن للتقييمات الدورية لثقافة الأمان أن تساعد على تعزيز التفكير والحوار بشأن الافتراضات الأساسية.

— **من الضروري أن يكون هناك نهج نظامي ينظر في التفاعلات بين العوامل البشرية والتنظيمية والتقنية. ومن الضروري اتباع هذا النهج طوال دورة عمر المنشآت النووية.**

أظهر الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية أنه من الصعب تحديد نقاط الضعف في النظم التي تشمل تفاعلات معقدة بين الناس والمنظمات والتكنولوجيا لأنَّ الافتراض الأساسي فيما يتعلق بالأمان النووي يمكن أن يظلَّ خارج نطاق الكشف عنه. ومن الضروري اتباع نهج نظامي يشمل الاعتبارات البشرية والتكنولوجية والتنظيمية ويفهم كيفية عمل مكونات النظام الشامل وكيفية تفاعلها في ظروف التشغيل العادي وظروف الحوادث على حد سواء.

٣- التأهب والتصدي للطوارئ

يتناول هذا القسم بالوصف أهم الأحداث التي وقعت وإجراءات التصدي التي اتُخذت منذ بداية الحادث في ١١ آذار/مارس ٢٠١١. كما أنه يتطرق إلى النظام الوطني للتأهب والتصدي للطوارئ في اليابان قبل وقوع الحادث والإطار الدولي للتأهب والتصدي للطوارئ.

ويلخص الإطار ٣-١ المتطلبات الدولية الرئيسية التي كانت قائمة قبل وقوع الحادث فيما يتصل بالتأهب من أجل التصدي لحالات الطوارئ النووية.

الإطار ٣-١- المتطلبات الرئيسية المحدَّدة في معايير الأمان الصادرة عن الوكالة قبل وقوع الحادث بشأن التأهب من أجل التصدي للطوارئ النووية

تقتضي معايير الأمان الصادرة عن الوكالة [68, 69] السارية قبل وقوع الحادث ما يلي:

(١) استخدام نهج يغطي جميع المخاطر في وضع ترتيبات للتأهب والتصدي[٦٣]؛ (٢) وضع نظام لتصنيف الطوارئ على أساس الظروف القابلة للمشاهدة والمعايير القابلة للقياس (المستويات الموجِبة لاتخاذ إجراءات الطوارئ) وشروع الجهة المشغِّلة فوراً بعد تصنيف حالة الطوارئ باتخاذ إجراءات عاجلة محددة سلفاً لوقاية الجمهور (في المناطق المحددة سلفاً)؛ (٣) تحديد مناطق الطوارئ في كل حالات الطوارئ المحتملة، بما فيها حالات الطوارئ ذات احتمالات الوقوع المنخفضة؛ (٤) وضع ترتيبات لتنفيذ الإجراءات الوقائية داخل مناطق الطوارئ وخارجها، حسب الاقتضاء؛ (٥) وضع معايير وطنية للقرارات المتخذة بشأن إجراءات وقاية الجمهور (الإجلاء، والإيواء، وحصر الغدة الدرقية باليود، والترحيل، وفرض قيود على استهلاك الأغذية ومياه الشرب وتوزيعها، ورصد الجمهور، وإزالة التلوث) من حيث الجرعات والمقادير القابلة للقياس (المستويات التشغيلية الموجِبة للتدخل)، مع مراعاة مجموعة من العوامل (مثل الجوانب المالية والاجتماعية)؛ (٦) وضع ترتيبات لإجراء رصد للإشعاعات وأخذ عينات بيئية وتقييمها من أجل تحديد المخاطر الجديدة فوراً ولتحسين استراتيجية التصدي؛ (٧) القيام في مرحلة التأهب بتحديد الفئات السكانية الخاصة داخل مناطق الطوارئ (مثل الأشخاص ذوي الإعاقة والمرضى في المستشفيات) الذين يلزم وضع ترتيبات محدَّدة بشأنهم (٨) وضع ترتيبات بشأن عمال الطوارئ، بما يشمل تحديد معايير الجرعات في مختلف أنواع المهام، وتعيين عمال الطوارئ وضمان وقايتهم، ووضع إرشادات لإدارة الجرعات والتحكم فيها وتسجيلها، وتوفير معدات الوقاية المتخصصة، والإجراءات، والتدريب؛ (٩) التخطيط للانتقال من مرحلة الطوارئ إلى عمليات التعافي واستئناف الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية المعتادة، بما يشمل توزيع المسؤوليات توزيعاً واضحاً، وتقاسم المعلومات ونقلها، وتقييم العواقب، وإرساء عمليات رسمية للبت في رفع القيود وغير ذلك من الترتيبات المفروضة أثناء حالة الطوارئ، وتحديد المبادئ والمعايير ذات الصلة، والتشاور مع الجمهور؛ (١٠) إسناد الأدوار والمسؤوليات والسلطات المتعلقة بالتأهب والتصدي للطوارئ على كافة المستويات بوضوح كجزء من خطط الطوارئ (١١) تحديد العلاقات التنظيمية والترابطات بين المنظمات المشغِّلة وأجهزة التصدي وإعداد بروتوكولات تشغيلية لتنسيق التصدي للطوارئ على كافة المستويات؛ (١٢) وضع خطط وإجراءات للطوارئ وتنسيقها على كافة المستويات بالاستناد إلى المخاطر المقيَّمة؛ (١٣) التحضير لتقديم الدعم اللوجستي من خلال توفير الأدوات والأجهزة والإمدادات والمعدات ونُظم الاتصالات والمرافق الوظيفية المحددة والوثائق، بما يشمل التخطيط لقابلية تشغيل تلك المفردات والمرافق وإمكانية استخدامها في الأوضاع الإشعاعية وأوضاع العمل والأوضاع البيئية المفترضة أثناء التصدي للطوارئ؛ (١٤) التخطيط للتدريب والاختبارات والتمارين وإجرائها؛ (١٥) إرساء برنامج لضمان الجودة من أجل التأكد من أن جميع الإمدادات والمعدات ونُظم الاتصالات والمرافق والوثائق وغيرها، حسب الاقتضاء، مواكبة باستمرار لآخر التطورات، ومتاحة وصالحة للاستخدام في حالات الطوارئ.

---

[٦٣] 'الترتيبات'، هي المجموعة المتكاملة من عناصر البنية الأساسية التي تلزم لتوفير القدرة على أداء وظيفة أو مهمة معيَّنة يحتاج إليها الأمر من أجل التصدي لطارئ نووي أو إشعاعي. ويمكن لهذه العناصر أن تشمل السلطات والمسؤوليات أو التنظيم أو التنسيق أو العاملين أو الخطط أو الإجراءات أو المرافق أو المعدات أو التدريب.

ويلخص الإطار ٣-٢ أنواع الإجراءات الوقائية الواجب اتخاذها في حالات الطوارئ النووية.

الإطار ٣-٢- أنواع الإجراءات الوقائية الواجب اتخاذها في حالات الطوارئ النووية [48, 69]

'إجراءات تخفيفية'، وهي إجراءات فورية تُتخذ للحد من إمكانية تطور الظروف على نحو يؤدي إلى تعرض أو إلى انطلاق مواد مشعة بما يتطلب اتخاذ إجراءات طوارئ داخل الموقع أو خارجه، أو التخفيف من حدة ظروف المصادر التي قد تؤدي إلى تعرض أو إلى انطلاق مواد مشعة بما يتطلب اتخاذ إجراءات طوارئ داخل الموقع أو خارجه.

'إجراءات وقائية عاجلة'، وهي إجراءات يجب، لكي تكون فعالة، أن تُنفذ فوراً (عادة في غضون ساعات). وأكثر الإجراءات الوقائية العاجلة شيوعاً في حالات الطوارئ النووية هي الإجلاء، والإيواء، وحصر الغدة الدرقية باليود، وفرض قيود على استهلاك المواد الغذائية المحتمل تلوثها، وتطهير الأفراد من التلوث.

'إجراءات وقائية مبّكرة'، وهي الإجراءات التي يجب، كي تكون فعالة، أن تتخذ في غضون أيام أو أسابيع. ويمكن أن تدوم تلك الإجراءات حتى بعد انتهاء حالة الطوارئ. وخلافاً للإجراءات الوقائية العاجلة، يمكن عموماً أن تستند تلك الإجراءات إلى نتائج الرصد التي تراعى فيها الطبيعة الخاصة بانطلاق المواد المشعة وتشتتها في البيئة. وتشمل أمثلة الإجراءات الوقائية المبكِّرة الترحيل، والقيود على الأغذية ومياه الشرب، والضوابط على الزراعة.

٣-١- التصدي الأوَّلي للحادث في اليابان

كانت هناك وقت وقوع الحادث ترتيبات منفصلة للتصدي لحالات الطوارئ النووية والكوارث الطبيعية على المستويين الوطني والمحلي. ولم تكن هناك أي ترتيبات منسَّقة للتصدي لطارئ نووي وكارثة طبيعية يقعان بصورة متزامنة.

وتوخت ترتيبات التصدي لحالات الطوارئ النووية إرسال إخطار من المحطة إلى الحكومات المحلية والوطنية في أعقاب اكتشاف ظروف معاكسة ذات صلة في محطة للقوى النووية (مثل فقدان جميع القوى الكهربائية المولَّدة بالتيار المتردد لأكثر من خمس دقائق أو فقدان جميع إمكانات تبريد المولِّد). وكان من المتوقع أن تقوم الحكومة الوطنية بعد ذلك بتقييم وتحديد ما إذا كانت الحالة تصنَّف بأنها 'طارئ نووي'[٦٤] وإذا كانت الحالة قد صُنِّفت بأنها طارئ نووي، كان سيصدر إعلان في هذا الشأن على المستوى الوطني، وكانت ستُتخذ قرارات بشأن تنفيذ الإجراءات الوقائية الضرورية على أساس توقعات الجرعات.

وبناء على تقرير من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، أعلنت الحكومة الوطنية عشية يوم ١١ آذار/مارس عن وقوع طارئ نووي وأصدرت أوامر باتخاذ إجراءات لوقاية الجمهور. وقاد التصدي على المستوى الوطني رئيس الوزراء وكبار المسؤولين من مكتب رئيس الوزراء في طوكيو.

وبات التصدي داخل الموقع بالغ الصعوبة بسبب تداعيات الزلزال والتسونامي وازدياد مستويات الإشعاعات. وتعذَّر اتخاذ الكثير من الإجراءات التخفيفية في الوقت المناسب بسبب فقدان القوى الكهربائية المتولِّدة بالتيار المتردد والقوى الكهربائية المتولِّدة بالتيار المستمر، ووجود كمّ هائل من الركام حال دون اتخاذ إجراءات للتصدي داخل الموقع. والإنذارات بوقوع المزيد من موجات تسونامي وارتفاع مستويات الإشعاعات. وشاركت الحكومة الوطنية في اتخاذ قرارات بشأن الإجراء التخفيفي داخل الموقع.

وتعذَّر تنشيط مركز الطوارئ الواقع خارج الموقع على بُعد ٥ كم من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بسبب الأضرار الواسعة التي لحقت بالبنية الأساسية جراء الزلزال والتسونامي. وفي غضون بضعة أيام، بات من الضروري إجلاء مركز التصدي خارج الموقع بسبب الظروف الإشعاعية المعاكسة.

---

[٦٤] قانون التدابير الخاصة المتعلقة بالتأهب للطوارئ النووية رقم ١٥٦ لسنة ١٩٩٩ بصيغته المعدلة أخيراً بالقانون رقم ١١٨ لسنة ٢٠٠٦، المشار إليه فيما يلي بقانون الطوارئ النووية.

وكان الأساس القانوني الرئيسي للنظام الوطني للتأهب والتصدي للطوارئ في اليابان واردًا في القانون الأساسي بشأن التدابير المضادة للكوارث [70] وقانون التدابير الخاصة المتعلقة بالتأهب للطوارئ النووية [19] (الإطار ٣-٣).

الإطار ٣-٣- الوثائق الرئيسية المحدِّدة للنظام الوطني للتأهب والتصدي لحالات الطوارئ النووية في اليابان وقت وقوع الحادث

الأساس القانوني الوطني			
قانون التدابير الخاصة المتعلقة بالتأهب للطوارئ النووية	القانون الأساسي بشأن التدابير المضادة للكوارث*		
أساس التخطيط الوطني			
الدليل الرقابي بشأن التأهب للطوارئ في المرافق النووية	مرسوم إنفاذ قانون التدابير الخاصة بشأن التأهب للطوارئ النووية	أمر إنفاذ قانون التدابير الخاصة بشأن التأهب للطوارئ النووية	الخطة الأساسية لإدارة الكوارث*
الخطط والأدلة التشغيلية			
دليل التصدي للطوارئ النووية	خطة عمليات إدارة الكوارث*	على المستوى الوطني	
الأدلة النووية على مستوى المحافظة/المدينة/البلدة/القرية	خطط إدارة الكوارث على مستوى المحافظة/المدينة/البلدة/ القرية*	على مستوى المحافظة/المدينة/ البلدة/القرية	
أدلة التصدي للطوارئ الخاصة بالمشغِّلين النوويين	خطط عمل المشغِّلين النوويين في حالات الطوارئ	المشغلون	

* تتناول هذه الوثائق مختلف أنواع الكوارث، بما فيها حالات الطوارئ النووية

٣-١-١- الإخطار

تقضي المادة ١٠ من قانون الطوارئ النووية [19] بأن ترسل محطة القوى النووية إخطاراً إلى الحكومتين المحلية والوطنية عند وقوع 'أحداث خاصة' معيَّنة محدَّدة سلفاً، مثل توقف جميع إمدادات القوى المتولِّدة بالتيار المتردد لأكثر من خمس دقائق [55]. وبموجب المادة ١٥ من قانون الطوارئ النووية، يُرسَل تقريرٌ عن وقوع 'طارئ نووي' إذا تحققت معايير معيَّنة محدَّدة سلفاً أو إذا جرى تجاوزها، مثل فقدان جميع إمكانات تبريد المفاعل [21, 71]

وافتُرِض أن إرسال تقرير عن وقوع حدث بموجب المادة ١٥ سيلي إرسال إخطار بوقوع حدث بموجب المادة ١٠ [72]. وتقوم الحكومة الوطنية بعد تلقيها الإخطار بتقييم وتقرير ما إذا كان الحدث 'طارئاً نووياً'. وإذا تقرر أن الأمر كذلك، تُقدَّم إحاطة إلى رئيس الوزراء ويُعرض عليه مشروع الإعلان عن وقوع 'طارئ نووي'. ويكون رئيس الوزراء مسؤولاً عن البت في الإعلان عن 'طارئ نووي' وإصدار أوامر[٦٥] و/أو توصيات بشأن اتخاذ إجراءات لوقاية الجمهور [73].

[٦٥] يستخدم قانون الطوارئ النووية [19] والقانون الأساسي بشأن التدابير المضادة للكوارث [70] المصطلحين 'تعليمات' لاتخاذ إجراءات وقائية. وتكون 'التعليمات' إلزامية، ويلزم بالتالي من الجمهور أن يتقيَّد بها. وأما 'التوصية' فهي مجرد اقتراح، وبالتالي فهي ليست إلزامية. غير أنه لأغراض الوضوح، يستخدم مصطلح 'أوامر' في هذا التقرير كمرادف لمصطلح 'تعليمات'.

ويلخص الشكل ٣-١ الإجراءات الرئيسية الواجب اتخاذها في حالة وقوع حدث تنطبق عليه المادة ١٠ و/أو المادة ١٥ من قانون الطوارئ النووية [19, 70, 73–75].

ووصلت موجة التسونامي التي اجتاحت محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية في الساعة ١٥:٣٦ من يوم ١١ آذار/مارس ٢٠١١ [10]. وأُرسل إخطار من المحطة بوقوع 'حدث محدَّد' في الوحدات من ١ إلى ٥ بموجب المادة ١٠ من قانون الطوارئ النووية [19] إلى الحكومتين الوطنية والمحلية في الساعة ١٥:٤٢ من يوم ١١ آذار/مارس وتبعه في الساعة ١٦:٤٥ بلاغ جاء فيه أن الوحدتين ١ و٢ تعرضتا لحدث صنف بأنه 'طارئ نووي' بموجب المادة ١٥ من القانون [3, 8, 76, 77].

وحدَّد البلاغ المقدَّم بموجب المادة ١٠ نوع 'الحدث المحدَّد' بأنه 'انقطاع التيار الكهربائي في المحطة' في الوحدات ١-٥ [76]. وكان نوع الحدث الذي تم الإبلاغ عنه بأنه 'طارئ نووي' بموجب المادة ١٥ في البداية "عدم قدرة نظام تبريد قلب المفاعل في حالات الطوارئ على حقن المياه" في الوحدتين ١ و٢ [77]. وبعد تلقي الإخطار، قيَّمت الحكومة الوطنية الوضع وقرَّرت أنه 'طارئ نووي' [6].

وأصدر رئيس الوزراء في الساعة ١٩:٠٣ إعلاناً عن وقوع طارئ نووي. وجاء ذلك الإعلان بعد أكثر من ساعتين من تلقي إخطار من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بوقوع حدث مصنَّف بأنه 'طارئ نووي' في الوحدتين ١ و٢ بموجب المادة ١٥ من القانون بعد مناقشات مطوَّلة بين المسؤولين خارج الموقع [3].

٣-١-٢- الإجراءات التخفيفية

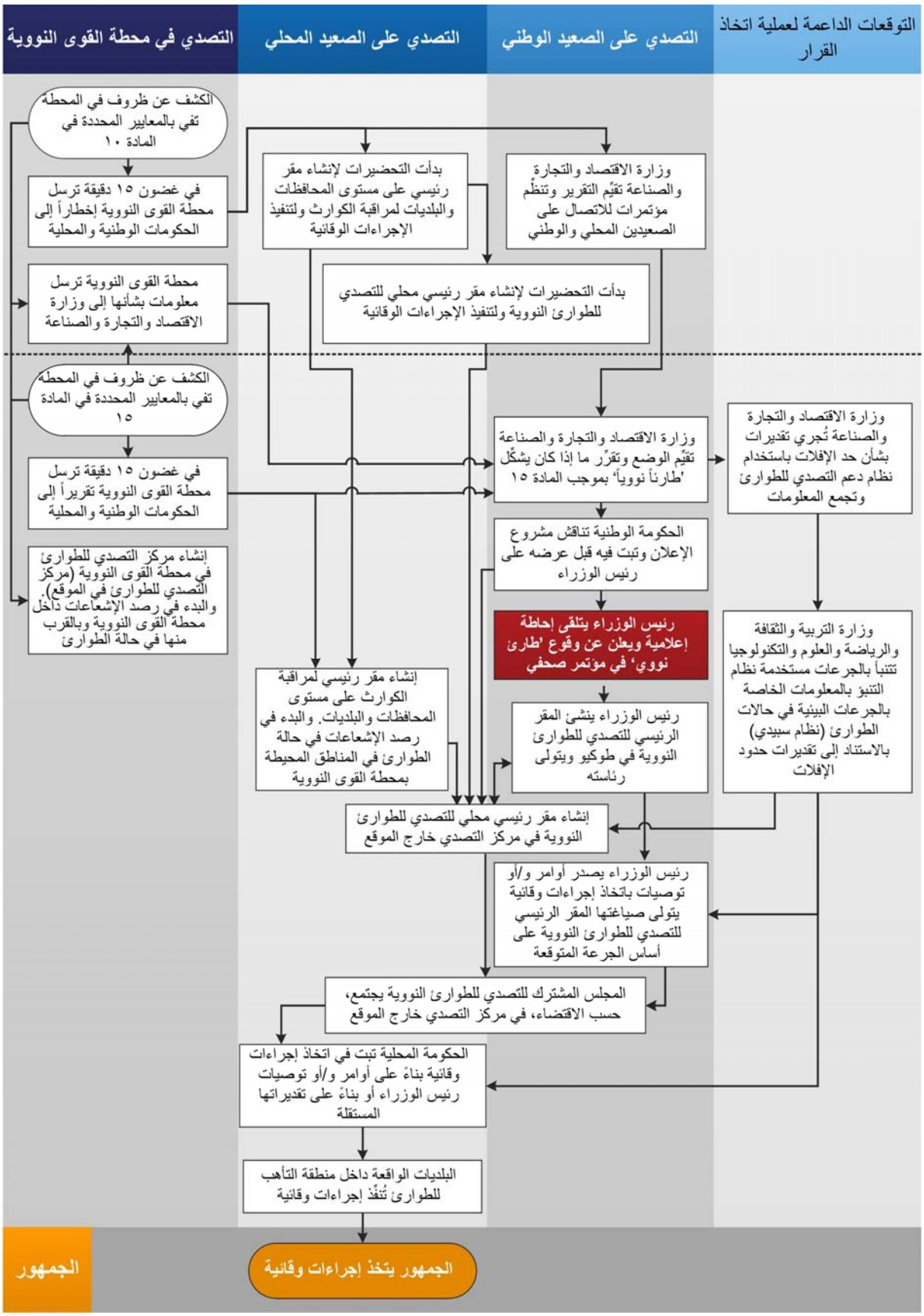
أنشئ مركز للتصدي للطوارئ تحت رئاسة مراقب الموقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية وفقاً لدليل التصدي للكوارث الخاص بشركة طوكيو للطاقة الكهربائية (شركة تيبكو) بعد حوالي ١٥ دقيقة من وقوع الزلزال [6, 8]. وأقيم المركز في 'المبنى المعزول زلزالياً' الذي كان مجهزاً بسمات خاصة، بما فيها إمدادات مستقلة للقوى الكهربائية ونُظم للتهوية مزوَّدة بأجهزة ترشيح. وشُيِّد المبنى[٦٦] نتيجة لدروس مستفادة من تجربة محطة كاشيوازاكي-كاريوا للقوى النووية في أعقاب زلزال نييغاتاكي-تشويتسو-أوكي الذي وقع في عام ٢٠٠٧، وأتاح استخدامه مواصلة الإجراءات التخفيفية في الموقع أثناء التصدي للحادث [8].

وتوخت الترتيبات التي كانت قائمة قبل وقوع الحادث أن يرسل مركز التصدي للطوارئ داخل الموقع، عند الحاجة، طلباً إلى مقر شركة تيبكو بشأن الحصول على دعم باستخدام إمكانات شركة تيبكو أو الموارد التي يتم جمعها من منظمات التشغيل النووي الأخرى من خلال اتفاق التعاون بين المشغِّلين النوويين اليابانيين [8, 75].

وعقب إرسال طلب من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، جرت تعبئة موظفين إضافيين ومعدات من محطات القوى النووية اليابانية الأخرى (التي لا تشغِّلها شركة تيبكو) لدعم التصدي لحالة الطوارئ داخل الموقع. غير أن الأضرار الواسعة التي لحقت ببنية النقل الأساسية جراء الزلزال والتسونامي، بالإضافة إلى عدم كفاية التخطيط المُسبَّق، قوضت من فعالية ذلك الدعم. فعلى سبيل المثال، أدى ذلك في الحالات التي لم يتضمن فيها طلب الحصول على معدات تفاصيل كافية تُحدِّد المطلوب، إلى شراء معدات غير متوافقة مع المعدات القائمة في المحطة (بسبب عدم توافق التركيبات أو التوصيلات أو غيرها) [8].

---

[٦٦] بدأت أعمال التشييد في آذار/مارس ٢٠٠٩ ودخل المبنى طور التشغيل في تموز/يوليه ٢٠١٠.



الشكل ٣-١: الإجراءات الرئيسية الواجب اتخاذها إذا كان الحدث مشمولاً بالمادة ١٠ و/أو المادة ١٥ من قانون الطوارئ النووية حسب ما كان مخططاً له قبل وقوع الحادث (استناداً إلى المراجع [19, 70, 73-75]).

ولدى التصدي إلى حالة الطوارئ، تم إيفاد عاملين من شركة تيبكو، ومن المتعهدين ومن محطات القوى النووية اليابانية الأخرى (التي لم تكن تشغلها شركة تيبكو) إلى الموقع للمساعدة على أداء شتى المهام، بما في ذلك استعادة القوى الكهربائية وإصلاح أجهزة الرصد، وحقن مياه التبريد في المفاعلات، وإزالة الركام، ورصد مستويات الإشعاعات [8]. كما أرسلت الوكالات والمنظمات الحكومية الوطنية عاملين، مثل القوة اليابانية للدفاع الذاتي وقوات الشرطة ورجال مكافحة الحرائق إلى الموقع. وساعد هؤلاء العاملون في أنشطة شتى منها تشغيل المعدات الكبيرة المطلوبة لصب المياه أو رشها على أحواض الوقود المستهلك في الوحدات ١ و٣ و٤، وتوفير مراقبة لأحواض الوقود المستهلك باستخدام المروحيات [3, 6, 8].

وأسفر الزلزال وتسونامي عن فقدان القوى الكهربائية المتولِّدة بالتيار المتردد وبالتيار المستمر، وعن مقادير هائلة من الركام. ووقعت أيضاً بعض الهزات اللاحقة وإنذارات بإمكانية حدوث مزيد من موجات تسونامي. ونتيجة لتلك العوامل ولازدياد مستويات الإشعاعات ولانفجارات الهيدروجين وكذلك بسبب عدم وجود ترتيبات مفصَّلة، أصبح التصدي مسألة بالغة الصعوبة وتعذَّر تنفيذ الكثير من الإجراءات التخفيفية في الوقت المناسب [8]. ونفَّذ العاملون في الموقع إجراءات تخفيفية في ظل أوضاع بالغة الصعوبة، حيث عملوا لساعات أطول وفي ظروف جد مرهقة أكثر من المتوقع في العادة [8].

وشاركت الحكومة الوطنية في القرارات المتعلقة بالإجراءات التخفيفية، مثل حقن مياه البحر لتبريد الوقود [6, 7]. ولم تكن الأدوار والمسؤوليات والسلطات في هذا الصدد مُسندة بوضوح في مرحلة التأهب.

٣-١-٣- إدارة حالة الطوارئ

كان المتوقع في ظل النظام الوطني للتأهب والتصدي للطوارئ المعمول به وقت وقوع الحادث أن تتمثل الكيانات الأساسية المسؤولة عن إدارة الطوارئ النووية في الآتي: المقر العام للتصدي للطوارئ النووية[٦٧] وأمانته[٦٨] وكذلك المقر المحلي للتصدي للطوارئ النووية[٦٩]. ويوفر المقر العام للتصدي للطوارئ النووية التوجيه والتنسيق للتصدي الوطني الذي تقرَّر أن يشمل إعداد وإصدار الأوامر و/أو التوصيات إلى الحكومة الوطنية بشأن الإجلاء [19].

وفيما يتعلق بالتصدي الوطني على المستوى المحلي، تقرر أن يتولى المقر المحلي للتصدي للطوارئ النووية في مركز التصدي خارج الموقع على بُعد خمسة كيلومترات من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية تنسيق الإدارة العامة للتصدي لحالة الطوارئ النووية في أقرب وقت ممكن. وتقرَّر أيضاً أن يقع مقر التصدي للطوارئ النووية في المحافظة والمجلس المشترك للتصدي للطوارئ النووية في مركز التصدي خارج الموقع [73, 74, 78].

---

[٦٧] تقرَّر أن يتألف المقر العام للتصدي للطوارئ النووية من أشخاص يعيّنهم رئيس الوزراء من بين مسؤولي مجلس الوزراء والأجهزة الإدارية المعيَّنة [19]. وتقرَّر أن يتولى رئيس الوزراء منصب المدير العام للمقر العام الذي تقرَّر أن يقع في مكتب رئيس الوزراء (انظر الشكل ٣-٢).

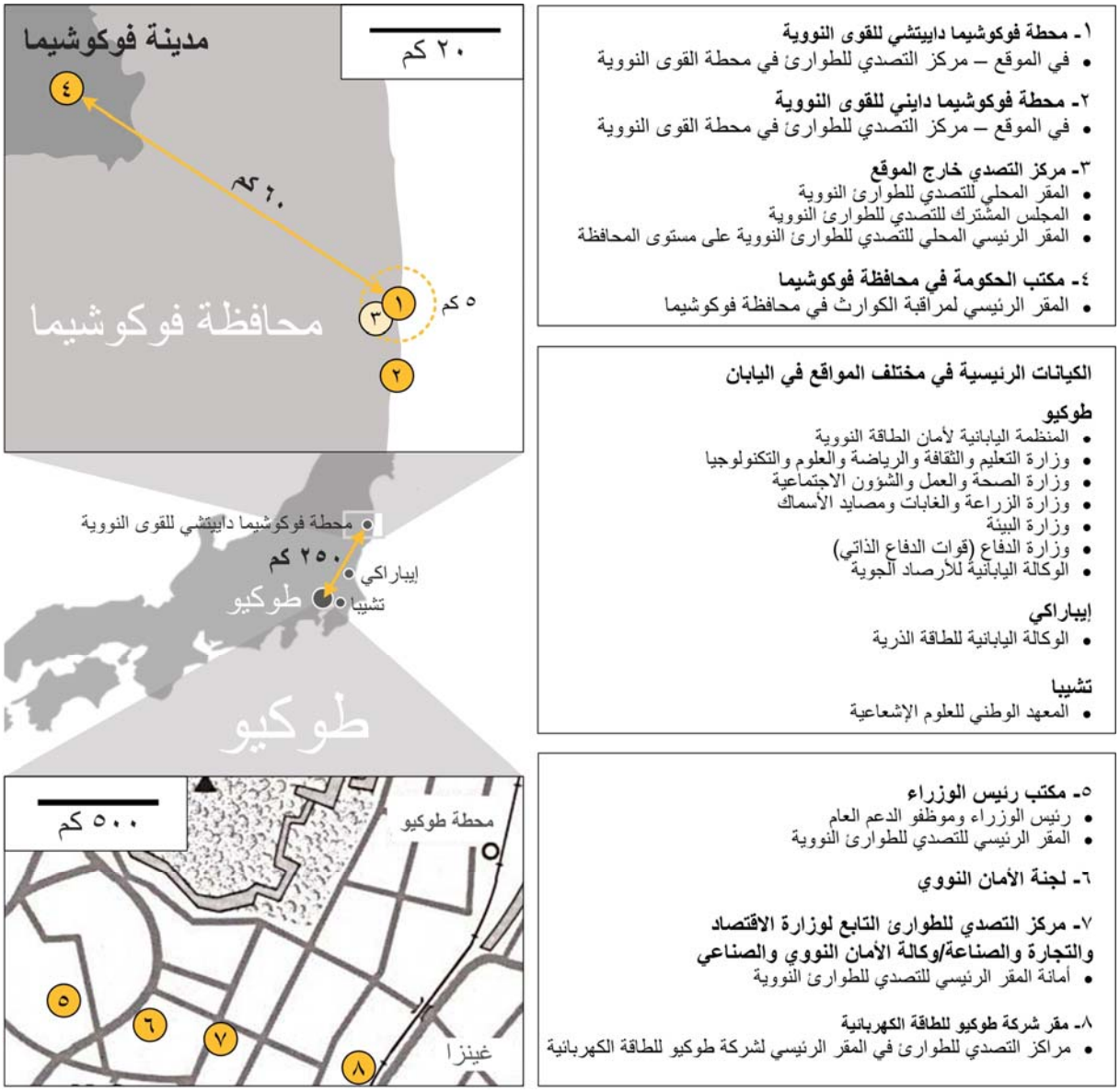
[٦٨] تقرَّر أن تتكوَّن الأمانة من ممثلين للأجهزة الرئيسية وأن يرأسها المدير العام لوكالة الأمان النووي والصناعي التابعة لوزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة. وتقرَّر أن تقع الأمانة في مركز التصدي للطوارئ في وكالة الأمان النووي والصناعي داخل مبنى وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة (انظر الشكل ٣-٢).

[٦٩] تقرَّر أن يضم المقر المحلي أفراداً من جميع الأجهزة ذات الصلة، على أن يكون النائب الأول لوزير الاقتصاد والتجارة والصناعة مديراً عاماً له. وتقرَّر أن يقع المقر المحلي في مركز التصدي خارج الموقع (انظر الشكل ٣-٢).

وفيما يتعلق بالتصدي للطوارئ النووية على مستوى المحافظة، تقرَّر أن يتولى المقر المحلي للتصدي للطوارئ النووية في المحافظة ومقر مراقبة الكوارث في محافظة فوكوشيما تنسيق الأنشطة على مستوى المحافظة. وتقرَّر أن يتولى المجلس المشترك للتصدي للطوارئ النووية إجراء التنسيق بين عمليات التصدي الوطنية على المستوى المحلي وعمليات التصدي على مستوى المحافظة [19, 73, 74].

ووُضعت ترتيبات منفصلة للتصدي لحالات الطوارئ النووية والكوارث الطبيعية على المستويين الوطني والمحلي. ولم يؤخذ بعين الاعتبار في تلك الترتيبات الحاجة إلى التصدي لطارئ نووي متزامن مع كارثة طبيعية [74, 78].

ويبين الشكل ٣-٢ مواقع الكيانات الأساسية في إدارة التصدي للطوارئ النووية حسب الخطة الموضوعة قبل وقوع الحادث.



الشكل ٣-٢: مواقع الكيانات الأساسية المعنية بإدارة التصدي للطوارئ النووية[٧٠]

[٧٠] استناداً إلى المراجع [7, 8, 73, 74, 79–91].

وفي الساعة ١٤:٥٠ من يوم ١١ آذار/مارس ٢٠١١، أنشأ نائب السكرتير الأول لمكتب رئيس الوزراء لشؤون إدارة الأزمات مكتباً لإدارة التصدي تابعاً لمكتب رئيس الوزراء من أجل التعامل مع الزلزال. وفي الساعة ١٥:١٤، أنشأت الحكومة الوطنية المقر العام للتصدي لكوارث الطوارئ في مكتب رئيس الوزراء في طوكيو الذي تولى منصب مديره العام. وفي الساعة ١٦:٣٦، أنشأ نائب السكرتير الأول لمجلس الوزراء لشؤون إدارة الأزمات في مكتب رئيس الوزراء مكتباً للتصدي للطوارئ من أجل التعامل مع الحادث النووي [6].

وفي الساعة ١٩:٠٣ من يوم ١١ آذار/مارس ٢٠١١، أنشأت الحكومة الوطنية المقر العام للتصدي للطوارئ النووية في نفس الوقت الذي صدر فيه الإعلان عن وقوع طارئ نووي [3].

وفي الوقت الذي تطوَّر فيه الحادث بوتيرة سريعة، لم يكن هناك أي وقت لإجراء أي مناقشات مفصَّلة أثناء اجتماعات المقر العام للتصدي للطوارئ النووية. وتألف الفريق الأساسي للتصدي للطوارئ من رئيس الوزراء وكبار المسؤولين داخل مكتب رئيس الوزراء. وأصدر رئيس الوزراء أوامر إجلاء إلى الحكومات الوطنية دون مشاركة أمانة المقر العام للتصدي للطوارئ النووية [7].

وأنشئ مكتب التصدي المتكامل المشترك بين الحكومة وشركة تيبكو، وهو مقر متكامل تابع للمنظمة المشغِّلة ولجهاز التصدي التابع للحكومة وذلك يوم ١٥ آذار/مارس ٢٠١١ في مقر شركة تيبكو الكائن في طوكيو [6] لضمان تقاسم المعلومات في الوقت المناسب على المستوى الوطني.

وعلى المستوى المحلي، أدّت الأضرار الواسعة التي نجمت عن الزلزال والتسونامي إلى صعوبة الشروع في عمليات مركز التصدي خارج الموقع [92]. ونتيجة لذلك، تعذَّر على المقر المحلي التصدي للطوارئ النووية على مستوى المحافظة وسائر الكيانات التي كان من المفترض أن تعمل من المركز الواقع خارج الموقع (المجلس المشترك للتصدي للطوارئ النووية والمقر المحلي للتصدي للطوارئ النووية على مستوى المحافظة) من أداء دورها. وفي ١٥ آذار/مارس ٢٠١١، بات ضرورياً إجلاء مركز التصدي خارج الموقع بسبب تفاقم الأوضاع الإشعاعية[٧١] ونقله إلى مقر مجلس المحافظة على مسافة ٦٠ كم تقريباً من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية [6, 92]. ولم يكن هذا المرفق مزوَّداً بنفس الإمكانات التي كانت متاحة في مركز التصدي خارج الموقع، ونشأت عن ذلك صعوبات مثل تعذّر تقاسم المعلومات آنياً بين السلطات ذات الصلة.

وفيما يتعلق بالتصدي على مستوى المحافظة، أنشئت 'فرقة نووية' جديدة[٧٢] في مقر مراقبة الكوارث في محافظة فوكوشيما كجزء من الهيكل الذي أنشئ من أجل التصدي للزلزال والتسونامي بغرض تنسيق الأنشطة على مستوى المحافظة [7].

---

[٧١] لم يصمَّم مركز التصدي خارج الموقع لتحمل مستويات الإشعاعات المتزايدة.

[٧٢] تم تكوين فرقة نووية جديدة لأن الفرق التسع القائمة العاملة على النحو المحدَّد في خطة محافظة فوكوشيما لإدارة الكوارث [74] كانت تشارك في التصدي للزلزال والتسونامي [7].

٣-٢- وقاية عمال الطوارئ

وقت وقوع الحادث، تناولت التشريعات والإرشادات الوطنية في اليابان التدابير الواجب اتخاذها لوقاية عمال الطوارئ[٧٣]، ولكن بصورة عامة ودون الخوض في تفاصيل كافية.

وتطلَّب دعم التصدي للطوارئ الكثير من عمال الطوارئ من مختلف التخصصات المهنية. وجاء عمال الطوارئ من شتى المنظمات والخدمات العامة. ومع ذلك لم توضع أي ترتيبات لدمج هؤلاء العمال الذين لم يتم تعيينهم لهذه المهمة قبل الحادث في عمليات التصدي.

وأثرت الظروف الصعبة في الموقع تأثيراً كبيراً على تنفيذ الترتيبات من أجل ضمان وقاية العمال من التعرض. وحفاظاً على مستوى مقبول من الوقاية لعمال الطوارئ داخل الموقع، نُفِّذت مجموعة من التدابير الارتجالية. ورُفع مؤقتاً مستوى حد الجرعة لعمال الطوارئ الذين كانوا يضطلعون بمهام محدَّدة من أجل السماح بمواصلة الإجراءات التخفيفية الضرورية. وتأثرت أيضاً بشدة الإدارة الطبية لعمال الطوارئ، واقتضت الحاجة بذل جهود كبيرة لتلبية احتياجات عمال الطوارئ داخل الموقع.

وتطوَّع أفراد الجمهور المشار إليهم باسم 'مقدمي المساعدة'، للمساعدة في التصدي لحالة الطوارئ خارج الموقع. وأصدرت السلطات الوطنية إرشادات بشأن نوع الأنشطة التي يمكن أن يضطلع بها مقدمو المساعدة وبشأن التدابير المتخذة لوقايتهم.

٣-٢-١- وقاية العاملين في المحطة عقب وقوع الزلزال والتسونامي

بُذلت في أعقاب صدور التحذير من وقوع التسونامي جهود لوقاية عمال المحطة (نحو ٦٠٠٠ شخص) من الأثر المتوقع للتسونامي. وبُثت التحذيرات من موجات التسونامي باستخدام نظام مكبرات الصوت داخل الموقع وأُخطر العاملون بإخلاء الموقع والانتقال إلى مواقع معيَّنة على مستويات أعلى. وبينما نجحت هذه الجهود في معظم الحالات، لم يتلق كل العاملين التحذير وأوامر الإجلاء [8 ,7] وأغرقت الفيضانات التي نجمت عن التسونامي عاملين كانا يفحصان المعدات عقب وقوع الزلزال في الطابق تحت الأرضي داخل مبنى التوربينات في الوحدة ٤ [8].

ونجحت وقاية العاملين في المحطة من تأثيرات التسونامي إلى حد كبير بفضل الدروس المستفادة من التجربة التي مرت بها محطة كاشيوازاكي-كاريوا للقوى النووية في أعقاب زلزال نييغاتاكي-تشويتسو-أوكي في عام ٢٠٠٧، والجهود التي بُذلت بعد ذلك لوضع إجراءات للخروج من حالات الطوارئ [8].

---

[٧٣] تستخدم الوكالة مصطلح 'عمال الطوارئ' كي يغطي العمال الذين تسند إليهم مهام العامل (أي شخص يعمل، سواء كل الوقت أو بعض الوقت أو بصفة مؤقتة، لحساب رب عمل وله حقوق معترف بها وعليه واجبات مسلّم بها فيما يتعلق بالوقاية من الإشعاعات المهنية) في التصدي لطارئ، من فيهم العمال الذين يعملون بصورة مباشرة أو غير مباشرة لدى المسجلين والمرخص لهم وكذلك العاملين التابعين لأجهزة التصدي، مثل رجال الشرطة ورجال الإطفاء والعاملين في المجال الطبي والسائقين والأطقم العاملة على مركبات الإجلاء. وفي اليابان، يغطي مصطلح 'العاملين في مجال التأهب للطوارئ' كل من يضطلع بأنشطة التصدي للطوارئ في حالة وقوع طارئ نووي، من قبيل "...توصيل المعلومات العامة والتعليمات إلى السكان المقيمين بالقرب من المكان، والإرشادات الصادرة إلى السكان المقيمين بالقرب من المكان بشأن الإجلاء، ومراقبة حركة السير، ورصد الإشعاعات، وتوفير المعالجة الطبية، وإجراءات منع تطور الوضع إلى كارثة في مرفق نووي، والعالمين الذين يؤدون أنشطة الإنعاش من الكوارث، مثل إزالة الملوثات الإشعاعية" [93].

وخلال الفترة من ١١ إلى ١٤ آذار/مارس ٢٠١١، أُجلي من الموقع العاملون الذين اعتبروا غير أساسيين، بمن فيهم العاملات الإناث ومعظم العاملين التابعين للمتعهدين المتعاقد معهم من الباطن. وفي صباح يوم ١٥ آذار/مارس، أُجريت عملية إجلاء أعداد إضافية من العاملين في المحطة بسبب تفاقم الأوضاع في الموقع. وبقي ما يتراوح بين ٥٠ و٧٠ موظفاً في الموقع ، بينما أُجليَ مؤقتاً ما يقرب من ٦٥٠ شخصاً إلى محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية اعتباراً من ظهر نفس اليوم [8].

٣-٢-٢- تدابير وقاية عمال الطوارئ

تناولت التشريعات والإرشادات الوطنية في اليابان وقت وقوع الحادث التدابير المتخذة لوقاية عمال الطوارئ. غير أن الترتيبات التي كانت موضوعة آنذاك، مثل الخطة داخل الموقع، لم تتناول تلك المتطلبات إلاّ بصورة عامة ودون الخوض في تفاصيل كافية. من ذلك على سبيل المثال أن الخطة داخل الموقع كانت تغطي المجالات التالية: تحديد المسؤوليات؛ وإسناد الواجبات العامة عن التأهب والتصدي للطوارئ؛ ووضع قائمة لحصر الأجهزة المتاحة (مثل أجهزة المسح وأجهزة قياس الجرعات الإلكترونية) [75].

ووُضعت حدود الجرعات لعمال الطوارئ على أساس المهام المكلفين بها، وبلغ الحد الأعلى للجرعة ١٠٠ ملّي سيفرت في حالة إجراءات إنقاذ الأرواح وأنشطة منع حدوث أوضاع كارثية، بينما اقتضت الحاجة بذل جهود لتقليل التعرض إلى أدنى مستوياته [93, 94].

وأثناء الحادث، اتُخذت مجموعة من التدابير الارتجالية للحفاظ على مستوى مقبول من الوقاية لعمال الطوارئ داخل الموقع في الظروف البالغة الصعوبة. وكان هنالك نقص في مقاييس الجرعات الشخصية بعد أن توقفت عن العمل معظمها في الموقع بسبب التسونامي. وأدى هذا الأمر إلى لزوم اتخاذ تدابير احترازية لتتبع الجرعات الفردية التي يتلقاها عمال الطوارئ داخل الموقع [8]. وصدرت على سبيل المثال تعليمات باستخدام مقياس جرعات شخصية إلكتروني واحد لكل مجموعة من عمال الطوارئ الذين كان من المتوقع أن يعملوا معاً في ظروف مماثلة. وأما بالنسبة لعمال الطوارئ الذين كانوا موجودين في المبنى المعزول زلزالياً فقد كانت الجرعات تُقاس وتُراقب عن طريق رصد معدلات الجرعات في المنطقة ومن خلال المدة التي يقضيها العمال في مناطق محددة. واستمر هذا الوضع حتى نهاية آذار/مارس ٢٠١١ عندما وصلت أعداد كافية من مقاييس الجرعات من محطات القوى النووية الأخرى [6, 8].

وفي ١٤ آذار/مارس ٢٠١٤ رُفع مؤقتاً مستوى حد الجرعة لعمال الطوارئ الذين يجرون أعمال طوارئ محدَّدة إلى ٢٥٠ ملّي سيفرت للسماح بمواصلة الأنشطة الضرورية داخل الموقع وفي حدود دائرة شعاعها ٣٠ كم من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية [95]. وظل حد الجرعة ١٠٠ ملّي سيفرت لعمال الطوارئ في خدمات مكافحة الحرائق من أجل إجراءات إنقاذ الأرواح [6]. وأُلغيت الزيادة المؤقتة في حد الجرعة إلى ٢٥٠ ملّي سيفرت في ١ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١١ بالنسبة لعمال الطوارئ الذين بدأوا العمل داخل الموقع منذ ذلك التاريخ فصاعداً، وفي ١٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١ بالنسبة لأغلبية سائر عمال الطوارئ، وفي ٣٠ نيسان/أبريل ٢٠١٢ لمجموعة صغيرة من عمال الطوارئ من ذوي المعرفة والخبرة المتخصصة [96, 97].

وتلقى معظم عمال الطوارئ داخل الموقع جرعات أقل من ٢٥٠ ملّي سيفرت [8]. وكانت هناك ست حالات تلقى فيها عمال الطوارئ جرعات زادت على المعيار المحدَّد للجرعة، وهو ٢٥٠ ملّي سيفرت، ووصلت أعلى جرعة إلى ٦٧٨ ملّي سيفرت (منها ٥٩٠ ملّي سيفرت بسبب التلوث الداخلي).

ونجم التلوث الداخلي عن ظروف العمل البالغة الصعوبة وعدم كفاية تنفيذ التدابير الوقائية (مثل سوء استخدام تدابير وقاية الجهاز التنفسي وحصر الغدة الدرقية باليود، والإجراءات التي أسفرت عن ابتلاع نويدات مشعة عن غير قصد)، وذلك أساساً بسبب نقص التدريب أو عدم فعاليته [5].

وواجهت شركة تيبكو أيضاً تحديات في ضمان سلامة عمال الطوارئ داخل الموقع، وذلك على سبيل المثال في توفير مرافق وظروف كافية (للراحة والنوم وتناول الطعام والإصحاح وما إلى ذلك) [101–98].

وتطوَّع خلال الحادث أشخاص من المناطق المتأثرة وكذلك أشخاص من جميع أنحاء اليابان بما في ذلك من عدد من المنظمات غير الحكومية المشار إليهم باسم 'مقدمي المساعدة' لتقديم العون في أنشطة من قبيل توفير الأغذية والمياه والاحتياجات الضرورية، ثم بعد ذلك في أنشطة إزالة التلوث وفي الرصد. وأصدرت السلطات الوطنية إرشادات بشأن نوع الأنشطة التي يمكن لمقدمي المساعدة الاضطلاع بها وبشأن التدابير الواجب اتخاذها لوقايتهم [104–102].

٣-٢-٣- تعيين عمال الطوارئ

تطلَّب دعم التصدي للطوارئ داخل الموقع وخارجه الكثير من مختلف أنواع عمال الطوارئ. وشمل عمال الطوارئ داخل الموقع عمال محطات القوى النووية التابعين مباشرة لشركة تيبكو أو المتعاقد معهم من الباطن، وعاملين من القوة اليابانية للدفاع الذاتي، وخدمات مكافحة الطوارئ، وقوات الشرطة المشارِكة في أعمال الطوارئ داخل الموقع [8]. وشمل عمال الطوارئ خارج الموقع عاملين من مختلف المنظمات والخدمات (الحكومية وغير الحكومية). وشملت مهامهم إجلاء الجمهور وإخلاء المرافق الخاصة وتقديم الدعم إلى الأشخاص الذين يتم إجلاؤهم، وتوفير الرعاية الطبية، وإجراء الرصد وأخذ العينات [6, 97, 105, 106].

ولم يكن جميع عمال الطوارئ معيَّنين بتلك الصفة قبل وقوع حالة الطوارئ (مثل بعض العاملين التابعين لشركة تيبكو وبعض العاملين التابعين للمتعهدين المتعاقد معهم من الباطن)، ولم توضع ترتيبات لدمجهم في التصدي بعد تعيينهم كعمال طوارئ. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الكثير من عمال الطوارئ الذين لم يكونوا معيَّنين قبل وقوع حالة الطوارئ لم يكونوا مدربين على العمل في ظروف الطوارئ النووية. من ذلك على سبيل المثال أنه لم يتم تدريبهم على جوانب الوقاية من الإشعاعات ولم يتم إبلاغهم بالمخاطر الصحية المحتملة جراء التعرض للإشعاعات، أو لم يتم تدريبهم على استخدام وقاية الجهاز التنفسي أو التعامل مع المرضى المحتمل تلوثهم بمواد مشعة [107]. وأسفر ذلك عن بعض التأخير في تنفيذ الإجراءات الوقائية مُبكراً أثناء التصدي [6].

٣-٢-٤- الإدارة الطبية لعمال الطوارئ

كان الحصول على العلاج الطبي الضروري لعمال الطوارئ المصابين بإصابات تقليدية صعبًا بسبب إغلاق العديد من المستشفيات جراء عمليات الإجلاء أو الإيواء، ولم يكن بعض تلك المستشفيات مجهزاً لمعالجة المرضى المحتمل تلوثهم بمواد مشعة [108, 107]. وكان عمال الطوارئ المصابون بإصابات تقليدية ينقلون إلى واحد من مستشفيين محليين لحين تقديم الرعاية الطبية الأساسية داخل الموقع [108].

وبعد نحو ١٧ ساعة من وقوع الزلزال، بعث المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية فريقاً للمساعدة الطبية في حالات الطوارئ الإشعاعية مؤلفاً في البداية من طبيب وممرضة وفيزيائي صحي إلى المقر المحلي للتصدي للطوارئ النووية (في مركز التصدي خارج الموقع) لإجراء تقييمات لتلوث عمال الطوارئ وتطهيرهم من التلوث [107].

وبدأ أطباء الصحة المهنية في تقديم الرعاية الأساسية إلى عمال الطوارئ داخل الموقع في مركز التصدي للطوارئ في المبنى المعزول زلزالياً بعد ثمانية أيام من بداية الحادث. وأقيم لاحقاً مركزان للفرز، أحدهما داخل الموقع والآخر في 'القرية اليابانية' (J-Village)[٧٤] [3, 8, 108].

واعتباراً من ١ تموز/يوليه ٢٠١١، أنشئ مرفق للرعاية في حالات الطوارئ في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وعُيِّن في هذا المرفق موظفون طبيون مدرَّبون على التعامل مع حالات الطوارئ الإشعاعية من جميع أنحاء اليابان [8, 108].

٣-٣- وقاية الجمهور

توخت ترتيبات الطوارئ الوطنية وقت وقوع الحادث اسناد القرارات المتعلقة بالإجراءات الوقائية إلى تقديرات الجرعات المتوقعة التي يتلقاها الجمهور والتي تُحسب حينما يلزم اتخاذ القرار عن طريق استخدام نموذج لتوقع الجرعات، وهو نظام التنبؤ بمعلومات الجرعات في حالات الطوارئ البيئية (نظام سبيدي). ولم تتوقع الترتيبات استناد القرارات المتعلقة بالإجراءات العاجلة لوقاية الجمهور إلى ظروف المحطة المحدَّدة سلفاً. غير أن القرارات الأوَّلية بشأن الإجراءات الوقائية، أثناء التصدي للحادث، اتُخذت على أساس ظروف المحطة. وتعذَّر توفير تقديرات لحد الإفلات كمدخل في نظام سبيدي بسبب فقدان القوى الكهربائية داخل الموقع.

وشملت الترتيبات المتخذة قبل وقوع الحادث معايير بشأن الإيواء، والإجلاء، وحصر الغدة الدرقية باليود على أساس الجرعة المتوقعة، ولكن ليس على أساس المقادير القابلة للقياس. ولم تُحدَّد أي معايير للترحيل.

وشملت إجراءات وقاية الجمهور التي نُفِّذت أثناء الحادث ما يلي: الإجلاء، والإيواء، وحصر الغدة الدرقية باليود (من خلال استعمال اليود المستقر)؛ وفرض قيود على استهلاك الأغذية ومياه الشرب؛ والترحيل؛ وتوفير المعلومات.

وبدأت أعمال إجلاء الأفراد من محيط محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية عشية ١١ آذار/مارس ٢٠١١، ووسِّعت منطقة الإجلاء تدريجياً من دائرة شعاعها ٢ كم من المحطة إلى ٣ كم ثم إلى ١٠ كم. وبحلول مساء يوم ١٢ آذار/مارس، توسع هذا الشعاع إلى ٢٠ كم وبالمثل، وسِّعت المنطقة التي طُلب من السكان الاحتماء فيها من مسافة تتراوح بين ٣ و١٠ كم من المحطة بعد وقت قصير من وقوع الحادث إلى ما يتراوح بين ٢٠ و٣٠ كم بحلول يوم ١٥ آذار/مارس. وفي المنطقة الواقعة داخل دائرة يتراوح شعاعها بين ٢٠ و٣٠ كم من محطة القوى النووية، صدرت تعليمات إلى الجمهور بالاحتماء حتى يوم ٢٥ آذار/مارس عندما أوصت الحكومة الوطنية بالإجلاء الطوعي. ولم يوحَّد استخدام اليود المستقر لحصر الغدة الدرقية باليود وذلك أساساً بسبب عدم وضع ترتيبات مفصَّلة.

ووُجِهت صعوبات في الإجلاء بسبب الأضرار التي نجمت عن الزلزال والتسونامي وأسفرت عن مشاكل في الاتصالات والنقل. كما ووجِهت أيضاً صعوبات كبيرة في إجلاء المرضى من المستشفيات ودور الرعاية الواقعة داخل منطقة الإجلاء المحدَّدة بعشرين كيلومتراً.

---

[٧٤] تقع القرية اليابانية على مسافة ٢٠ كم تقريباً جنوب محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وكانت القرية اليابانية قبل وقوع الحادث مرفقاً للتدريب على كرة القدم. وبعد الحادث استُخدمت كقاعدة لتقديم الدعم اللوجستي العام، مثل تجهيز العمال للمهام المسندة إليهم، ولرصدهم وتطهيرهم من التلوث، حسب اللزوم، بعد إنجاز مهامهم، وللفرز، وما إلى ذلك [3].

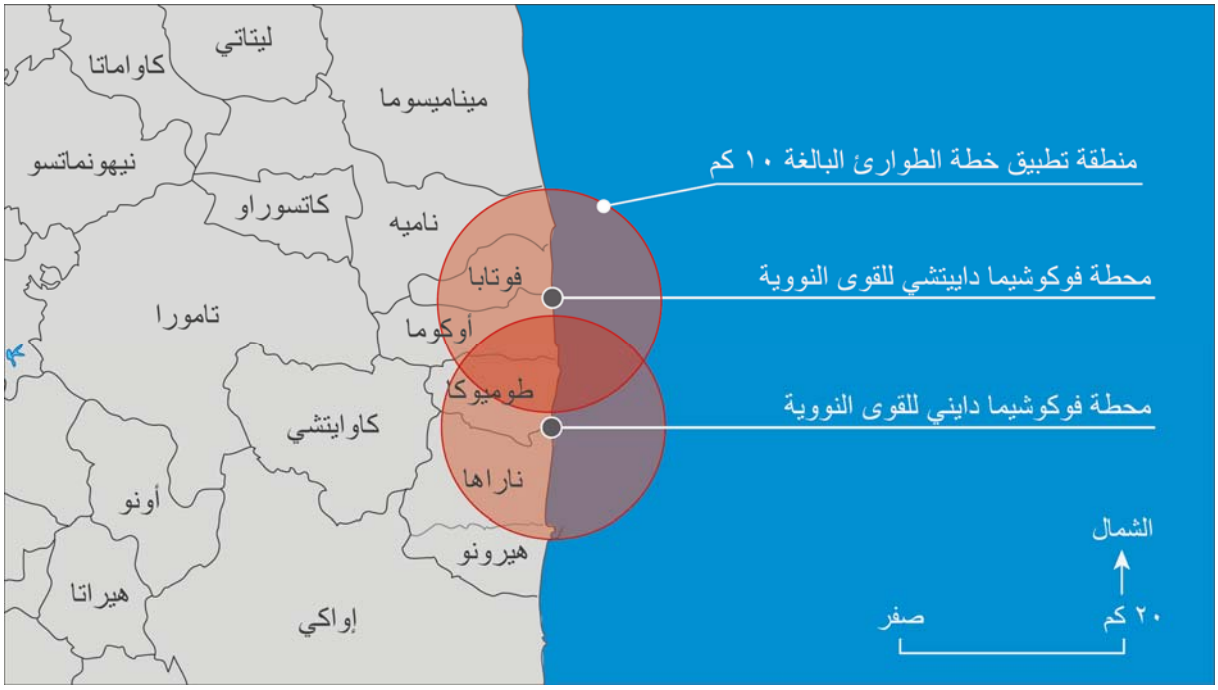
وفي ٢٢ نيسان/أبريل، تقرَّر أن تكون منطقة الإجلاء القائمة المحدَّدة بعشرين كيلومتراً 'منطقة محظورة'، مع مراقبة العودة إليها. وأنشئت أيضاً 'منطقة إجلاء مقصود' خارج 'المنطقة المحظورة' في الأماكن التي كان يمكن أن تزيد فيها الجرعات على المعايير المحدَّدة للترحيل.

وحالما اكتشفت نويدات مشعة في البيئة، وُضعت ترتيبات بشأن الإجراءات الزراعية الوقائية في المنطقة الزراعية وفرضت قيود على استهلاك وتوزيع الأغذية واستهلاك مياه الشرب. وبالإضافة إلى ذلك، وُضع نظام لاعتماد المنتجات الغذائية والمنتجات الأخرى الموجَّهة للتصدير.

واستخدمت عدة قنوات لتزويد الجمهور بالمعلومات وللرد على التساؤلات المثيرة لقلق السكان أثناء حالة الطوارئ، بما في ذلك استخدام التليفزيون والإذاعة والإنترنت والخطوط الهاتفية الساخنة. وحدَّدت التعقيبات التي قُدِّمت من الجمهور عبر الخطوط الهاتفية الساخنة وخدمات الإرشاد ضرورة توفير معلومات سهلة الفهم ومواد للدعم.

٣-٣-١- الإجراءات الوقائية العاجلة والترحيل

أُنشئت قبل الحادث مناطق تخطيط للطوارئ بلغت ١٠ كم، تقرر إجراء تعزيزات كبيرة فيها للتأهب للطوارئ، وذلك حول موقعي محطتي فوكوشيما داييتشي وفوكوشيما داييني (الشكل ٣-٣). ووُضعت خطط لتنفيذ إجراءات وقائية داخل هذه المناطق [74].



الشكل ٣-٣- مناطق التخطيط للطوارئ في محطتي فوكوشيما داييتشي وفوكوشيما داييني للقوى النووية قبل الحادث (على أساس المرجع [74]).

وتوخت خطط التصدي للطوارئ استناد القرارات المتعلقة بالإجراءات الوقائية إلى توقعات الجرعات متى لزم اتخاذ قرار بهذا الخصوص. وتقرَّر أن يستند توقع الجرعات إلى نظام سبيدي بعد بداية الحادث ومقارنتها بمعايير الجرعات المقررة سلفاً لتحديد ما يلزم اتخاذه من إجراءات وقائية وأين [73, 93]. ولم يكن هذا النهج متماشيا مع معايير الأمان الصادرة عن الوكالة في حين أنه من الضروري أن تكون القرارات الأوَّلية المتعلقة بالإجراءات الوقائية العاجلة بشأن وقاية الجمهور مستندة إلى الظروف السائدة في المحطة [68, 69].

وأُتيحت معايير الجرعات المقررة سلفاً بشأن الإيواء[٧٥]، والإجلاء[٧٦] وحصر الغدة الدرقية باليود[٧٧]، على أساس الجرعة المتوقعة ولكن ليس على أساس المقادير القابلة للقياس. ولم تكن هناك أي معايير محدَّدة سلفاً (أي عامة فيما يتعلق بالجرعة، أو تشغيلية فيما يتعلق بالمقادير القابلة للقياس) بشأن الترحيل[٧٨] [93].

وأثناء التصدي للحادث، تعذَّر توفير تقديرات بشأن 'حد الإفلات' من نظام دعم التصدي للطوارئ كمدخلات في نظام سبيدي[٧٩] بسبب فقدان القوى الكهربائية داخل الموقع. واتُخذت قرارات الإجلاء والإيواء على أساس الظروف السائدة في المحطة (أي فقدان تبريد قلب المفاعل) [3, 7].

ولم تُنسَّق في كل الحالات قرارات الحكومتين الوطنية والمحلية بشأن الإجراءات الوقائية، وذلك في الأساس بسبب الصعوبات الكبيرة في الاتصال وفي جانب منه بسبب صعوبات تنشيط مركز التصدي خارج الموقع [92]. وفي الساعة ٢٠:٥٠ من يوم ١١ آذار/مارس ٢٠١١، أصدرت محافظة فوكوشيما أمر إجلاء للسكان المقيمين على مسافة شعاع طوله ٢ كم من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بالاستناد إلى المعلومات الواردة مباشرة من شركة تيبكو [3, 6, 7, 70].

وفي الساعة ٢١:٢٣، أصدرت الحكومة الوطنية أمر إجلاء مساحة في حدود دائرة شعاعها ٣ كم من المحطة، والإيواء لمساحة في حدود دائرة يراوح شعاعها بين ٣ و١٠ كم. وفي الساعة ٥:٤٤ من يوم ١٢ آذار/مارس ٢٠١١، أصدرت الحكومة الوطنية أمر إجلاء مساحة تقع في دائرة يتراوح شعاعها بين ٣ و١٠ كم، وفي الساعة ١٨:٢٥ وسِّعت المنطقة لتشمل مساحة في حدود دائرة شعاعها ٢٠ كم من المحطة[٨٠] [3, 7].

ورتِّبت عملية إبلاغ الجمهور بأوامر الإجلاء باستخدام شبكة الاتصالات اللاسلكية المحلية الخاصة بإدارة الكوارث، والشاحنات المجهزة بمكبرات للصوت، وعربات الشرطة، والزيارات من منزل إلى منزل. ونتيجة للظروف داخل المحطة، وصعوبات التنسيق وعدم كفاية التخطيط المسبَّق، عُدلت أوامر الإجلاء والإيواء عدة مرات في غضون ٢٤ ساعة، ثم أُصدر في نهاية المطاف أمر بإجلاء منطقة واقعة داخل دائرة شعاعها ٢٠ كم ويقطنها نحو ٧٨ ٠٠٠ شخصًا [7].

---

[٧٥] 'الإيواء' هو الاستخدام القصير الأجل لهيكل من أجل الوقاية من غيوم الإشعاع المحمولة في الهواء و/أو المواد المشعة المترسَّبة [48].

[٧٦] 'الإجلاء' هو إبعاد الناس على نحو عاجل مؤقتاً من منطقة بهدف تفادي تعرضهم للإشعاعات لأجل قصير أو تقليصه عند حدوث حالة طارئة. ويمكن الاضطلاع بالإجلاء كإجراء احترازي يقوم على الظروف السائدة في المحطة [48].

[٧٧] 'حصر الغدة الدرقية باليود' هو إجراء وقائي عاجل يُتخذ في حالات الطوارئ التي تنطوي على يود مشع. ويشمل حصر الغدة الدرقية باليود استعمال مركب من اليود المستقر (عادة يود البوتاسيوم) لمنع الغدة الدرقية من تمثل نظائر يود مشعة [48].

[٧٨] 'الترحيل' هو نَقل الناس بصورة غير عاجلة من أجل تفادي تعرضهم على الأجل الأطول (في غضون سنة واحدة على سبيل المثال) لإشعاعات ناتجة عن المواد المشعة المترسَّبة [48].

[٧٩] أُجريت بعض تقديرات الجرعات باستخدام افتراضات أخرى؛ غير أن تلك التوقعات لم تُستخدم كأساس للبت في الإجراءات الوقائية العاجلة [4, 7].

[٨٠] فيما يتعلق بمحطة فوكوشيما داييني للقوى النووية، صدر أمر إجلاء إلى المواطنين داخل دائرة شعاعها ٣ كم وأمر إيواء للمواطنين الموجودين داخل دائرة يتراوح شعاعها بين ٣ و١٠ كم من المحطة وذلك في الساعة ٧:٤٥ من يوم ١٢ آذار/مارس ٢٠١١ [6]. وعقب وقوع انفجار هيدروجيني في الوحدة ١ من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية (في الساعة ١٥:٣٦ من يوم ١٢ آذار/مارس)، اتُخذ قرار في الساعة ١٧:٣٩ من يوم ١٢ آذار/مارس بإجلاء المواطنين من منطقة واقعة داخل دائرة شعاعها ١٠ كم حول محطة فوكوشيما داييني للقوى النووية تحسباً لأي انفجار هيدروجيني مماثل في تلك المحطة [6]. وبالنظر إلى أن منطقة الإجلاء التي كانت تبلغ ١٠ كم كانت تقع داخل منطقة الإجلاء البالغة ٢٠ كم حول محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، لم يلزم اتخاذ أي إجراءات وقائية أخرى بشأن محطة فوكوشيما داييني للقوى النووية.

ووجدت صعوبات في الإجلاء بسبب الأضرار التي لحقت بالبنية الأساسية، ومشاكل الاتصال والنقل التي نجمت عن الزلزال والتسونامي. ووجهت أيضاً تحديات كبيرة في إجلاء المرضى من المستشفيات ودور الرعاية داخل منطقة الإجلاء البالغة ٢٠ كم (مثل توفير وسائل النقل الملائمة وملاجئ الإجلاء المزوَّدة بالإمدادات الطبية). وبالرغم من تضرر الطرق وحدوث اختناقات في حركة السير، بدأ معظم النزلاء الذين لم يكونوا في حاجة إلى دعم طبي في مغادرة منطقة الإجلاء في غضون ساعات عقب صدور أوامر الإجلاء [7].

وصدر الأمر بإيواء السكان المقيمين في حدود دائرة تراوح شعاعها بين ٢٠ و٣٠ كم حول محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية يوم ١٥ آذار/مارس وظل ذلك الأمر ساري المفعول ذلك حتى يوم ٢٥ آذار/مارس [3, 7]. وأسفر تمديد مدة الإيواء وتعطل البنية الأساسية المحلية عن اضطرابات شديدة في حياة السكان [7]. وفي يوم ٢٥ آذار/مارس ٢٠١١، أصدرت الحكومة الوطنية إلى السكان المقيمين في منطقة تراوحت بين ٢٠ و٣٠ كم توصية بالإجلاء الطوعي [3, 7]. غير أنَّ الكثير من السكان كانوا قد غادروا المنطقة بالفعل طواعية.

ولم يوحَّد تنفيذ استعمال اليود المستقر لحصر الغدة الدرقية باليود وذلك أساساً بسبب عدم كفاية الترتيبات المخططة سلفاً. باستعمالها، بينما وزَّعت حكومات وطنية الأقراص ونصحت الجمهور باستعمالها، بينما ظل آخرون ينتظرون صدور تعليمات من الحكومة الوطنية [6].

وعاد بعض السكان إلى منازلهم في المناطق التي كان قد جرى إجلاؤها لجمع أمتعتهم قبل فرض حظر كامل على دخول المنطقة بحلول نهاية آذار/مارس ٢٠١١ [6]. وفي ٢٢ نيسان/أبريل، تقرَّر أن تكون منطقة الإجلاء القائمة البالغة ٢٠ كم حول محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية 'منطقة محظورة'، مع مراقبة العودة إليها وفرض شروط على دخولها مؤقتاً، على أساس التشاور مع الحكومات المحلية. وفي أيار/مايو ٢٠١١، سُمح بدخول المنطقة مؤقتاً لمدة قصيرة مع وضع ترتيبات من ضمنها إصدار تعليمات محدَّدة وإجراء رصد للتلوث [6, 104, 109].

وبدأ رصد الأشخاص الذين جرى إجلاؤهم على المستوى المحلي في ١٢ آذار/مارس ٢٠١١. واستندت القرارات المتعلقة بضرورة إزالة التلوث إلى المعايير التشغيلية المحدَّدة قبل وقوع الحادث. وبعد عدة أيام، وسِّعت هذه المعايير كي تفي بالظروف القائمة (مثل انخفاض درجات الحرارة، وعدم كفاية إمدادات المياه) [5].

وأُجري الرصد البيئي بعد الحادث في ظروف صعبة ومحفوفة بالمخاطر واستخدام القليل من المعدات والموظفين. ومن ذلك على سبيل المثال أن الزلزال والتسونامي تسببا في تعطيل معظم معدات الرصد المحلي التي كانت موجودة بالفعل. وبدأ الرصد داخل دائرة شعاعها ٢٠ كم من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية يوم ١٢ آذار/مارس وانتهى يوم ١٤ آذار/مارس عندما اكتمل الإجلاء داخل هذه المنطقة. وفي بعض المواقع خارج منطقة الإجلاء البالغة ٢٠ كم، قيست معدلات جرعات بلغت بضع مئات من الميكروسيفرت في الساعة اعتباراً من يوم ١٥ آذار/مارس فصاعداً [3, 6].

وفي ١١ نيسان/أبريل ٢٠١١، أعلنت الحكومة الوطنية أنه سيجري استخدام معيار لجرعة قدرها ٢٠ ملّي سيفرت من المتوقع تلقيها في غضون سنة واحدة من تاريخ الحادث لتحديد المناطق الواقعة خارج منطقة

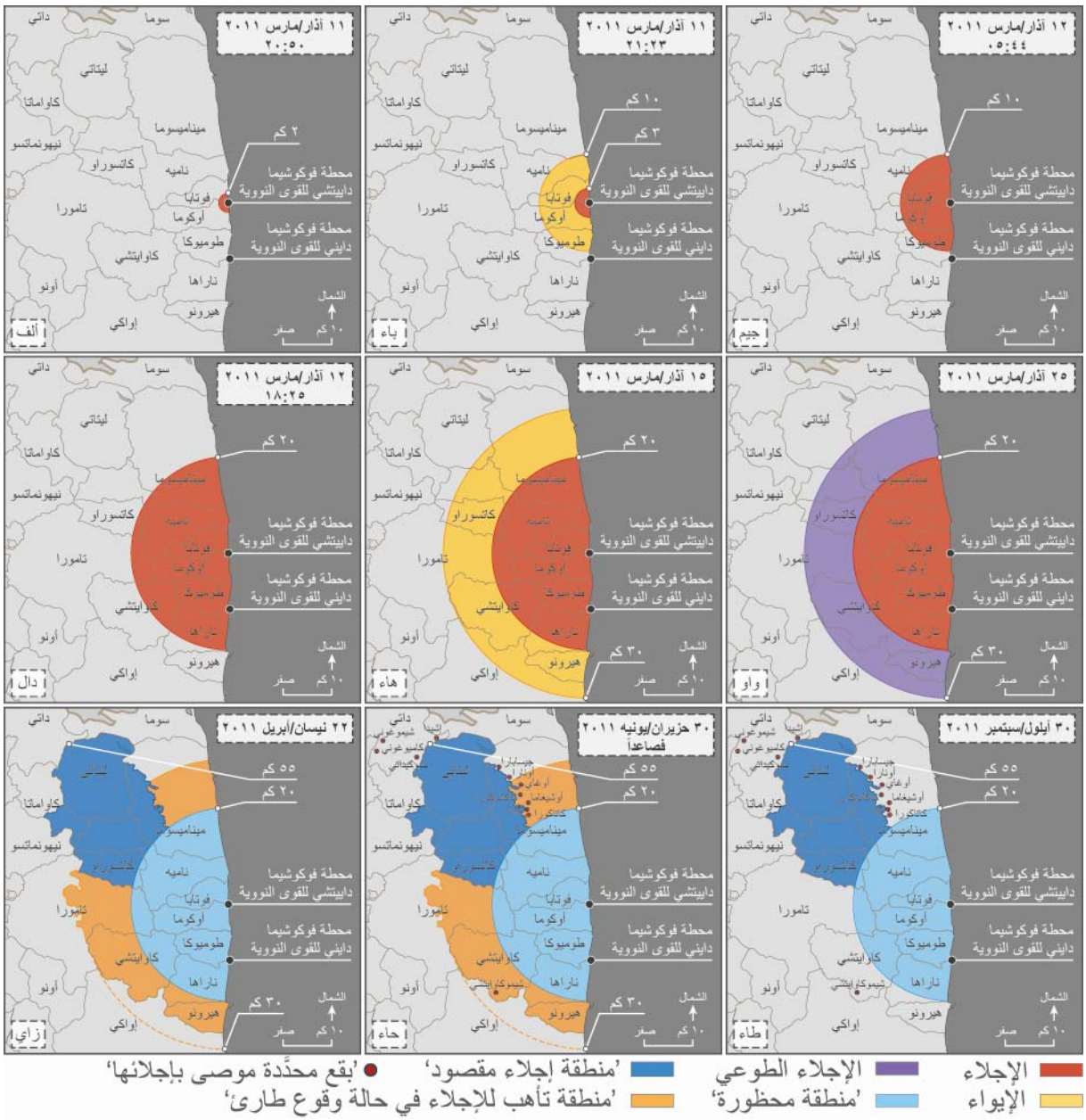
الإجلاء البالغة ٢٠ كم التي قد يلزم ترحيل الناس منها[٨١] [3]. وفي ٢٢ نيسان/أبريل ٢٠١١، أُنشئت 'منطقة إجلاء مقصود' خارج منطقة الإجلاء البالغة ٢٠ كم لتشمل المناطق التي قد يحدث فيها تجاوز لمعيار العشرين ملّي سيفرت المحدَّد للجرعة المتوقعة. وأصدرت الحكومة الوطنية أمراً بترحيل السكان عن هذه المنطقة في غضون شهر واحد تقريباً [3].

وبالإضافة إلى 'منطقة الإجلاء المقصود' أنشئت أيضاً 'منطقة تأهب للإجلاء في حال وقوع طارئ' في ٢٢ نيسان/أبريل ٢٠١١ (انظر الشكل ٣-٤). وطُلب من السكان المقيمين في 'منطقة التأهب للإجلاء في حال وقوع طارئ' بالاحتماء أو بإخلاء المنطقة بطريقتهم الخاصة في حالة تجدد القلق من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وألغي تعيين 'منطقة التأهب للإجلاء' في ٣٠ أيلول/سبتمبر ٢٠١١ [6].

ونتيجة للرصد خارج 'المنطقة المحظورة' (أي منطقة الإجلاء البالغة ٢٠ كم) و'منطقة الإجلاء المقصود'، تم التعرف على أماكن محدَّدة تجاوزت فيها الجرعات المتوقعة لدى السكان المقيمين ٢٠ ملّي سيفرت في غضون سنة واحدة من وقوع الحادث. وفي ١٦ حزيران/يونيه، أعلنت الحكومة الوطنية عن خط توجيهي ينص على اعتبار تلك الأماكن 'بقعاً محدَّدة موصى بإجلائها'. واعتباراً من ٣٠ حزيران/يونيه، بدأت الحكومة الوطنية في تعيين تلك الأماكن للترحيل منها [6, 7].

ويبين الشكل ٣-٤ المناطق والأماكن التي صدر أمر أو توصية باتخاذ إجراءات وقائية فيها حتى ٣٠ أيلول/سبتمبر ٢٠١١.

[٨١] معظم الوثائق اليابانية الرسمية التي تصف التصدي لحادث فوكوشيما داييتشي لا تستخدم مصطلح 'الترحيل'، ولكنها تشير إلى إبعاد السكان باعتباره 'إجلاء'.



الشكل ٣-٤- المناطق والأماكن التي أُمر أو أُوصي باتخاذ إجراءات وقائية فيها حتى ٣٠ أيلول/سبتمبر ٢٠١١ (على أساس المراجع [3, 6, 7, 104]).

وتعيَّن أيضاً على مسؤولي الحكومات المحلية البت خلال مرحلة مبكرة في إعادة فتح المدارس وشروط ذلك. وفي البداية، تم في ١٩ نيسان/أبريل ٢٠١١ تحديد معيار لجرعة قدرها ٢٠ ملّي سيفرت/سنة لهذا الغرض. وفي ٢٧ أيار/مايو، واستجابة لشواغل الجمهور، صدر عن حكومة اليابان إخطار أُعلن فيه أن الهدف هو تخفيض الجرعة إلى ١ ملّي سيفرت/سنة في المدى القريب [7].

٣-٣-٢- الإجراءات الوقائية المتصلة بالأغذية ومياه الشرب والزراعة

وُضِعت، قبل وقوع الحادث، المعايير الخاصة بتركّزات نشاط نويدات مشعة محدَّدة واستخدامها في حالة وقوع طارئ نووي لفرض قيود على الأغذية ومياه الشرب المنتجة في اليابان [93]. ومع ذلك لم تُعتمد هذه

القيم لاستخدامها في حالات الطوارئ كحدود رقابية محدَّدة[٨٢] [6, 7]. وفي ١٧ آذار/مارس ٢٠١١، حُدِّدت هذه المعايير باعتبارها قيماً رقابية مؤقتة لتنظيم مستويات النويدات المشعة في الأغذية ومياه الشرب بموجب قانون الإصحاح الغذائي [110].

وبعد اكتشاف مواد مشعة في البيئة، اتُخذت ترتيبات لمراقبة الأغذية ومياه الشرب. وشملت هذه الترتيبات ما يلي: (١) مستويات تركيز النويدات المشعة للسيزيوم المشع واليود المشع في الأغذية ومياه الشرب المحدَّدة كقيم رقابية مؤقتة بموجب قانون الإصحاح الغذائي التي توجب، في حال تجاوزها، فرض قيود على الأغذية ومياه الشرب؛ (٢) قياسات تركيزات النويدات المشعة في عينات الأغذية ومياه الشرب. وفي غضون بضعة أسابيع، انخفضت مستويات اليود المشع (اليود-١٣١) كثيراً بسبب عمره النصفي القصير (٨ أيام تقريباً) واستندت القيود الغذائية على الأجلين المتوسط والطويل إلى تركيزات السيزيوم المشع فقط [110].

وفي ٢١ آذار/مارس ٢٠١١، بدأت الحكومة الوطنية في إصدار تعليمات بشأن توزيع أغذية محدَّدة [111] وتغيرت تلك التعليمات تبعاً لتطورات الأوضاع. وفُرضت القيود على الأغذية استناداً إلى نتائج رصد عينات الأغذية التي حددت الأغذية التي تجاوزت المعايير والمكان الجغرافي المتضرر (الأماكن الجغرافية المتضررة) [112, 113].

كما ووجهت عدة تحديات في الإجراءات الوقائية المتصلة بالأغذية والمشروبات، بما فيها: (١) تحديد المعايير (تركيزات نشاط النويدات المشعة) التي يمكن استخدامها كأساس لمراقبة الأغذية؛ (٢) تحديد الأغذية التي تضررت أو التي يمكن أن تتضرر، في مختلف الأماكن الجغرافية، بمستويات تتجاوز هذه الجرعات؛ (٣) التعامل مع نقص البنية الأساسية والموارد اللازمة لأخذ العينات والتحليل؛ (٤) معالجة شواغل بعض الحكومات المحلية بشأن إجراء عمليات أخذ العينات وتحليلها.

وفي ٤ نيسان/أبريل ٢٠١١، وُضعت سياسة مكَّنت من فرض قيود على الأغذية ليس فقط في المناطق الواقعة ضمن حدود المحافظة، بل وكذلك في الأماكن الواقعة في مناطق جغرافية أصغر (مثل المدن والبلدات والقرى)، حسب الاقتضاء. وحدَّدت السياسة عملية لفرض القيود على مختلف المنتجات الغذائية أو رفعها عنها. وكان في وسع المحافظات أن تتقدَّم بطلب تعديل القيود شريطة أن تكون نتائج رصد الأغذية أقل من القيم الرقابية المؤقتة ثلاث مرات متتالية في فحوص الرصد الأسبوعية [7].

وفي ٥ نيسان/أبريل ٢٠١١، واستناداً إلى قياسات تركيزات اليود-١٣١ في عينات الأسماك، أُضيفت القيم الرقابية المؤقتة المتعلقة بتركيزات اليود المشع في منتجات الأسماك [114].

وفي ٨ نيسان/أبريل ٢٠١١، صدرت سياسة بشأن القيود المفروضة على زراعة الأرز في التربة الزراعية التي تزيد فيها مستويات السيزيوم المشع على المعايير المحدَّدة [6].

وفي ١٤ نيسان/أبريل ٢٠١١، حُدِّدت مستويات تركيز النويدات المشعة للسيزيوم المشع واليود المشع في العلف الحيواني كقيم مؤقتة مسموح بها. وبالرغم من القيود على العلف الحيواني، تجاوزت بعض عينات لحوم الأبقار القيم الرقابية المؤقتة (في تموز/يوليه ٢٠١١). ووُضع نظام مراقبة للحيلولة دون توزيع تلك اللحوم على المستهلكين [6].

---

[٨٢] حُدِّدت معايير الأغذية المستوردة إلى اليابان (٣٧٠ بكريل/كغ من السيزيوم المشع — سيزيوم-١٣٤ وسيزيوم-١٣٧) كحدود رقابية عقب الحادث في محطة تشرنوبل للقوى النووية في الاتحاد السوفياتي السابق في عام ١٩٨٦ [7].

وفي ١ نيسان/أبريل ٢٠١٢، بدأ نفاذ الحدود المعيارية التي حلت محل القيم الرقابية المؤقتة. وحدَّدت هذه الحدود تركيزات نشاط النويدات المشعة في الأغذية ومياه الشرب على أساس جرعة فعالة قدرها ١ ملّي سيفرت/سنة (بينما استخدم معيار قدره ٥ ملّي سيفرت/سنة كأساس للقيم الرقابية المؤقتة)، مع مراعاة تأثير مجموعة من النويدات المشعة المنطلقة أثناء الحادث على الجرعة. ونتيجة لذلك، كانت هذه القيم أقل كثيراً من القيم الرقابية المؤقتة التي حلت محلها [115].

٣-٣-٣- الإعلام العام

وُضعت ترتيبات لإعلام الجمهور قبل الحادث. وكانت هناك على المستوى الوطني ترتيبات تعترف بضرورة قيام أجهزة التصدي ذات الصلة بتنسيق تقديم المعلومات إلى الجمهور، بما في ذلك محتوى الإعلانات وتوقيتها وأسلوب تقديمها [73]. وشملت أيضاً خطة محافظة فوكوشيما لإدارة الكوارث ترتيبات من أجل الإعلام العام [74].

وأصدرت الهيئة الرقابية وهي وكالة الأمان النووي والصناعي رسالتها الأولى عن أثر الزلزال في المرافق النووية من خلال 'الخدمة الهاتفية النقالة لوكالة الأمان النووي والصناعي' في الساعة ١٥:١٦ من يوم ١١ آذار/مارس ٢٠١١ بعد ٣٠ دقيقة من وقوع الزلزال. وصدر في الساعة ١٩:٠٣ إعلان رئيس الوزراء عن وقوع طارئ نووي خلال مؤتمر صحفي في الساعة ١٩:٤٥. وتبع ذلك مؤتمر صحفي حكومي حول أوامر الإجلاء في الساعة ٢١:٥٢ [6, 7].

وعقدت الحكومة الوطنية ووكالة الأمان النووي والصناعي اليابانية والأجهزة المحلية المعنية بالتصدي للطوارئ، والحكومات المحلية، وشركة تيبكو، مؤتمرات صحفية مستقلة استمرت حتى يوم ٢٥ نيسان/أبريل. وعقد السكرتير الأول لمجلس الوزراء مؤتمرات صحفية منتظمة مرتين يومياً وكذلك حسب الاقتضاء لتقديم معلومات إلى الجمهور عن الحادث وتعريفه بآراء الحكومة. وتم إصدار أكثر ١٥٠ نشرة صحفية وعقد ١٨٢ مؤتمراً صحفياً في الفترة من ١١ آذار/مارس حتى ٣١ أيار/مايو ٢٠١١ [3]. وعرضت نتائج الرصد البيئي في مؤتمرات صحفية وجلسات إعلامية صحفية عقدتها وزارة التعليم والثقافة والرياضة والعلوم والتكنولوجيا.

وعقدت لجنة الأمان النووي مؤتمرات صحفية يومية من يوم ٢٥ آذار/مارس حتى يوم ٢٤ نيسان/أبريل ٢٠١١، وثمانية مؤتمرات صحفية في الفترة من يوم ٢٥ نيسان/أبريل حتى يوم ١٩ أيار/مايو ٢٠١١ [3].

وعقدت في الفترة من ٢٥ نيسان/أبريل ٢٠١١ فما بعده مؤتمرات صحفية مشتركة بين العديد من المنظمات المعنية بالتصدي. وساهم ذلك في تحقيق الاتساق في المعلومات المقدَّمة [6]. وأصدر المقر المحلي للتصدي للطوارئ النووية نشرات إخبارية ووزَّعها على مواقع الإجلاء اعتباراً من نيسان/أبريل ٢٠١١ فصاعداً. وأذيعت أيضاً المعلومات ذات الصلة دورياً عبر محطات الإذاعة المحلية [3].

وأنشئت خطوط ساخنة للرد على استفسارات الجمهور. فعلى سبيل المثال، أقامت وكالة الأمان النووي والصناعي في ١١ آذار/مارس ٢٠١١ خطاً ساخناً للرد على الاستفسارات المتصلة بتطورات حالة الطوارئ والأمان الإشعاعي، وتلقت ما يقرب من ١٥ ٠٠٠ مكالمة في الفترة من ١٧ آذار/مارس حتى ٣١ أيار/مايو ٢٠١١ [3]؛ وفي ١٣ آذار/مارس، افتتح خط ساخن تابع للمعهد الوطني للعلوم الإشعاعية تم من خلاله الرد على نحو ٦ ٥٠٠ مكالمة بحلول يوم ١١ نيسان/أبريل [116]؛ وفي ١٧ آذار/مارس ٢٠١١، افتتحت وزارة التعليم والثقافة والرياضة والعلوم والتكنولوجيا والوكالة اليابانية للطاقة الذرية خطاً ساخناً تلقى ما مجموعه ١٧ ٥٠٠ مكالمة حتى يوم ١٨ أيار/مايو ٢٠١١ [3]. وأنشأت محافظة فوكوشيما خدمات للإرشاد من أجل

الرد على تساؤلات السكان المقيمين بشأن مختلف جوانب الإشعاعات. وحدَّدت تعقيبات الجمهور من خلال الخطوط الساخنة وخدمات الإرشاد ضرورة الحصول على معلومات يمكن فهمها بسهولة ومواد للدعم [3].

وفي الفترة من ١٢ آذار/مارس ٢٠١١ فصاعداً، نشرت الحكومة الوطنية معلومات باللغات الإنكليزية والصينية والكورية على المواقع الإلكترونية للوزارات والوكالات ذات الصلة [117]. وقدِّمت معلومات إلى الهيئات الدبلوماسية في طوكيو من خلال جلسات إعلامية منتظمة عقدتها الحكومة الوطنية يومياً في الفترة من يوم ١٣ آذار/مارس حتى ١٨ أيار/مايو ٢٠١١، وثلاث مرات أسبوعياً من ١٩ أيار/مايو فصاعداً [6]. وأنشئت أيضاً قناة لإرسال الإخطارات عن طريق الفاكس والبريد الإلكتروني إلى الهيئات الدبلوماسية. وقدَّمت البعثات الدبلوماسية اليابانية معلومات إلى دولها المضيفة نُشرت على المواقع الإلكترونية بلغات شتى وصلت في مجموعها إلى ٢٩ لغة [3].

واعتباراً من ١٣ آذار/مارس ٢٠١١، عقدت الوزارات الوطنية ذات الصلة والوكالات الحكومية مؤتمرات صحفية مشتركة، معظمها بصورة يومية، لوسائط الإعلام الأجنبية [6].

وارتبطت التحديات التي ووجهت في تقديم المعلومات إلى المجتمع الدولي أساساً بالطلبات الواقعة على الموارد البشرية لترجمة المواد والرد على طلبات الحصول على المعلومات عبر الهاتف [117].

وأعلنت اليابان عن تصنيفات المقياس الدولي للأحداث النووية والإشعاعية (إينيس) عقب حادث فوكوشيما داييتشي. واستخدمت تصنيفات نظام إينيس على حدة في مختلف الوحدات في نفس الموقع. ونقِّحت التصنيفات عدة مرات إلى مستويات أعلى في غضون شهر واحد. وأدى تنقيح تصنيفات نظام إينيس إلى مستوى أعلى، إلى إثارة شواغل كبيرة لدى الجمهور ووسائط الإعلام.

٣-٣-٤- التجارة الدولية

استُهلّت أنشطة وتدابير كثيرة بهدف تحقيق ما يلي: (١) طمأنة الجمهور وقطاعات الصناعة والدول إلى أمان المنتجات اليابانية؛ (٢) تيسير التجارة الدولية في المنتجات اليابانية والحيلولة دون حدوث تأخير في توزيعها؛ (٣) إسداء المشورة والإرشاد إلى قطاع الأعمال والصناعة، لا سيما في محافظة فوكوشيما [98, 99, 118, 119].

وفرضت معظم الدول المستوردة تدابير لمراقبة السلع اليابانية؛ وقامت دول مستوردة كثيرة بزيادة الضوابط القائمة المفروضة على الواردات أو طلبت شهادة من حكومة اليابان؛ وحظر بعضها استيراد السلع اليابانية أو استيراد سلع (منتجات زراعية في معظمها) من بعض مناطق اليابان لفترة زمنية. وفي حزيران/يونيه ٢٠١١، أنشأت اليابان نظاماً لاعتماد المنتجات الغذائية الموجَّهة إلى التصدير، وساعد ذلك على طمأنة الجمهور والأطراف المهتمة الأخرى إلى وجود ضوابط. وجرى توسيع هذا النظام في أيلول/سبتمبر ٢٠١١ ليشمل حاويات الشحن وبعض المنتجات الصناعية الموجَّهة إلى التصدير [120].

٣-٣-٥- التصرف في النفايات في مرحلة الطوارئ

كانت الترتيبات التي وُضعت في اليابان قبل الحادث للتصرف في النفايات المشعة تشمل النفايات المتولدة في مرافق من قبيل محطات القوى النووية، ولكنها لم تكن تشمل النفايات المشعة المتولِّدة في المناطق العامة [121]. ووُضعت بعد الحادث استراتيجيات وخطوط توجيهية وتعليمات مفصَّلة بشأن التصرف في النفايات المشعة.

وأصدرت لجنة الأمان النووي في ٣ حزيران/يونيه ٢٠١١ 'السياسة القريبة الأجل لضمان أمان معالجة النفايات الملوثة والتخلص منها حول موقع محطات فوكوشيما داييتشي للقوى النووية'[122]. وتضمَّنت هذه الوثيقة معاييرًا لقياس الجرعات بالنسبة للمواد المعاد تدويرها؛ ووقاية العاملين القائمين بمعالجة المواد؛ ووقاية أفراد الجمهور القريب من مرافق المعالجة؛ ووقاية أفراد الجمهور القريب من موقع التخلص. واقترحت لجنة الأمان النووي التخلص من المواد المتأثرة بالحادث، أي الركام، والرواسب الطينية الناتجة عن عمليات معالجة المياه والصرف الصحي، والرماد المحروق، والأشجار، والنباتات، والتربة الناتجة عن أنشطة إزالة التلوث، في إطار إدارة سليمة، وإمكانية النظر في إعادة استخدام بعض المواد. وتقرَّر فحص المنتجات المصنَّعة من تلك المواد المعاد استخدامها للتأكد من عدم تلوثها والتصرف فيها على نحو مناسب قبل تصريفها في الأسواق. وكانت التدابير الوقائية المناسبة ستكفل إبقاء تعرض العاملين والجمهور للإشعاعات عند أدنى حد معقول [122].

ووضع المقر العام للتصدي للطوارئ النووية في ٢٦ آب/أغسطس ٢٠١١ 'السياسة الأساسية للتصدي للطوارئ بشأن أعمال إزالة التلوث' [123] كسياسة مؤقتة لحين دخول قانون التدابير الخاصة بشأن التعامل مع تلوث البيئة بموادٍ مشعَّة مصرَّفة من جراء الحادث في محطة القوى النووية المقترِن بالهزة الأرضية في مقاطعة طوهوكو – المقابلة للمحيط الهادئ التي وقعت في ١١ آذار/مارس ٢٠١١' تماماً حيز النفاذ. وسنّ القانون في ٢٦ آب/أغسطس ٢٠١١، وصدر في ٣٠ آب/أغسطس ٢٠١١ وبدأ نفاذ أجزاء منه في نفس اليوم وبدأ سريانه تماماً في كانون الثاني/يناير ٢٠١٢ [124]. وحدَّد القانون إدارة المناطق الملوثة وشمل توزيع المسؤوليات على الحكومات الوطنية والمحلية والجهة المشغِّلة والجمهور. كما سهَّل الانتقال من حالة تعرض طارئة إلى حالة تعرض قائمة. ووضع القانون أيضاً إطاراً رسمياً لإدارة الرصد البيئي على الأجل الطويل، وتدابير إزالة التلوث، وتحديد التربة والنفايات الملوثة بمواد مشعة ومعالجتها وخزنها والتخلص منها.

٣-٤- الانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي و تحاليل التصدي

لم يتم وضع سياسات ومبادئ توجيهية ومعايير وترتيبات شاملة محدَّدة، للانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي إلا بعد حادث فوكوشيما داييتشي. وقامت السلطات اليابانية عند وضع تلك الترتيبات بتطبيق آخر توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات.

وأُجريت تحليلات للحادث وللتصدي للطوارئ وعُرضت في شكل تقارير، بما في ذلك تلك الصادرة عن حكومة اليابان، والمنظمة المشغِّلة (شركة تيبكو)، ولجنتي تحقيق أنشأتهما الحكومة والبرلمان، على التوالي[٨٣].

وبعد وقوع الحادث، نُقحت في كثير من الحالات الترتيبات الوطنية للتأهب والتصدي للطوارئ في اليابان من أجل مراعاة نتائج تلك التحليلات و معايير الأمان ذات الصلة الصادرة عن الوكالة في مجال التأهب والتصدي للطوارئ.

---

[٨٣] صدرت أيضاً تقارير عن الهيئات الأكاديمية والقطاع الخاص (مثل التقارير الصادرة عن الجمعية اليابانية للطاقة الذرية ومؤسسة مبادرة إعادة بناء اليابان) [125, 126].

٣-٤-١- الانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي

قرَّرت السلطات اليابانية أثناء وضع ترتيبات الانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي بعد الحادث تطبيق آخر توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات [129–127]. ووُضعت بعد الحادث السياسات والمعايير والمبادئ التوجيهية المحدَّدة، وكذلك الترتيبات الشاملة الضرورية للانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي [130]. وشملت هذه العملية تعديل الإجراءات الوقائية والترتيبات التي اتُخذت في مرحلة مبكرة من التصدي للطوارئ ومراعاة المعلومات المتاحة عن الظروف السائدة في المناطق المتضررة (المستمدة أساساً من الرصد الشامل) [132 ,131]. وشملت العملية أيضاً دراسة عمليات التعافي الضرورية على الأجل الأطول.

وعالجت هذه الإجراءات والترتيبات أساساً الاحتياجات الفورية التي نشأت أثناء عملية الانتقال. وعُدِّلت تدريجياً ترتيبات وقاية العاملين، تبعاً للأعمال التي كانت قيد التنفيذ [6, 96].

وفي ١٧ نيسان/أبريل ٢٠١١، أصدرت شركة تيبكو 'خارطة طريق' حددت الخطوات المتخذة نحو التعافي داخل الموقع (السياسة الأساسية، والأهداف والإجراءات الفورية في مجالات التبريد والتخفيف من العواقب والرصد وإزالة التلوث) [24].

وفي ١٧ أيار/مايو ٢٠١١، أصدرت وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة 'خارطة طريق الإجراءات الفورية لمساعدة منكوبي الحادث النووي' [130]. وحدَّدت خارطة الطريق تسع مجموعات من الإجراءات انقسمت إلى خطوات تقرر تنفيذها على فترات مختلفة متصلة بخارطة طريق شركة تيبكو. وتقرر أن يكون الموعد المستهدف للخطوة الأولى منتصف تموز/يوليه، وأن تتراوح المدة المستهدفة للخطوة الثانية بين ثلاثة وستة أشهر بعد تحقيق الخطوة الأولى، واستهدفت الخطوة الثالثة فترة منتصف المدة. وكان المقصود من خارطة الطريق تيسير الاتصال والتحضيرات من أجل الانتقال إلى عمليات التعافي الطويلة الأجل واستئناف النشاط الاجتماعي والاقتصادي المعتاد. ووزعت المسؤوليات وحدَّدت الجوانب التنظيمية الأخرى لعملية الانتقال والأهداف وشروط إنهاء مرحلة الطوارئ.

٣-٤-٢- تحاليل التصدي

أجرت عدة هيئات تحاليل للحادث وللتصدي للحادث من أجل تحديد الدروس المستفادة ولتعزيز عدة مجالات شملت ترتيبات التأهب والتصدي للطوارئ في اليابان. وحددت نتيجة لذلك عدة تحسينات في هذه الترتيبات.

من ذلك على سبيل المثال أن التقرير الذي قدمته حكومة اليابان إلى المؤتمر الوزاري الذي عقدته الوكالة في حزيران/يونيه ٢٠١١ [3] عرض الدروس المستفادة في المجالات التالية الهامة للتأهب والتصدي للطوارئ: (١) اقتران الكوارث الطبيعية بالطوارئ النووية؛ (٢) الرصد البيئي؛ (٣) توزيع الأدوار بين المنظمات المركزية والمحلية؛ (٤) الاتصال في حالات الطوارئ؛ (٥) الاستجابة للمساعدة المقدَّمة من الدول الأخرى والاتصال مع المجتمع الدولي؛ (٦) نمذجة انطلاق المواد المشعة؛ (٧) معايير الإجلاء والمبادئ التوجيهية للوقاية من الإشعاعات في حالات الطوارئ النووية.[٨٤]

---

[٨٤] عُرض تقرير إضافي على الوكالة في أيلول/سبتمبر ٢٠١١ [4]. وتضمَّن هذا التقرير معلومات عن التطورات الأخرى والتقدم المحرز في معالجة الدروس المستفادة التي حدَّدها التقرير الأول الصادر في حزيران/يونيه ٢٠١١.

وخلصت اللجنة التي أنشأتها الحكومة للتحقيق في الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما للقوى النووية التابعة لشركة تيبكو إلى ضرورة أن تضع اليابان في الحسبان الدروس المستفادة من المجتمع الدولي وأن تدرج في خطوطها التوجيهية الوطنية معايير دولية من قبيل المعايير التي وضعتها الوكالة [5].

وسلَّط تقرير شركة تيبكو بشأن تحليل حادث فوكوشيما النووي [8] الضوء على القضايا التي حُدِّدت أثناء التصدي لحالة الطوارئ والتي شملت جهاز التصدي للطوارئ؛ وتعميم المعلومات؛ ونقل المواد والمعدات؛ والوقاية من الإشعاعات.

وأوصى تقرير اللجنة المستقلة للتحقيق في حادث فوكوشيما النووي التي أنشأتها الهيئة التشريعية الوطنية اليابانية توصية بإصلاح النظام الوطني للتأهب والتصدي للطوارئ، من بين أمور أخرى، بما يشمل توضيح أدوار ومسؤوليات الحكومة والحكومات الوطنية والمشغِّلين في حالات الطوارئ [7].

وعلى أساس هذه التحليلات والدروس المستفادة المحددة، اتُّخذت إجراءات تصحيحية لتقوية ترتيبات التأهب والتصدي للطوارئ [133, 134]. وأنشئت لجنة للتأهب للطوارئ النووية تابعة لمجلس الوزراء من أجل ضمان تنفيذ سياسات التصدي للطوارئ النووية وتعزيزها من جانب الحكومة [134]. كما قامت الهيئة الرقابية النووية بوضع مبادئ توجيهية للتصدي للطوارئ النووية[٨٥] [136] آخذة في الحسبان أيضاً معايير الأمان الصادرة عن الوكالة في مجال التأهب والتصدي للطوارئ.

٣-٥- التصدي ضمن الإطار الدولي للتأهب والتصدي للطوارئ

كان هناك وقت وقوع الحادث إطار دولي موسَّع للتأهب والتصدي للطوارئ وكان هذا الإطار مؤلفاً من الصكوك القانونية الدولية، ومعايير الأمان الصادرة عن الوكالة، والترتيبات التشغيلية[٨٦].

وكانت الوكالة وقت وقوع الحادث تضطلع بأربعة أدوار في التصدي لحالات الطوارئ النووية أو الإشعاعية: (١) الإخطار بالمعلومات الرسمية وتبادلها من خلال جهات اتصال معينة رسمياً. (٢) توفير معلومات مقدمة في الوقت المناسب وواضحة ومفهومة؛ (٣) تقديم المساعدة الدولية وتيسيرها حسب الطلب؛ (٤) تنسيق التصدي فيما بين الوكالات.

وشاركت دول كثيرة وعدة منظمات دولية في التصدي الدولي للحادث.

واتصلت الوكالة بجهة الاتصال الرسمية في اليابان واطلعت على المعلومات المتعلقة بحالة الطوارئ أثناء تطورها، وأبقت الدول والمنظمات الدولية ذات الصلة والجمهور على علم بالتطورات. وكان التواصل مع جهة الاتصال الرسمية في اليابان خلال المرحلة المبكرة من التصدي لحالة الطوارئ صعبًا. وحسَّنت زيارة المدير العام للوكالة إلى اليابان بعد وقت قصير من وقوع الحادث وتوزيع مسؤولي الاتصال لاحقاً إلى

---

[٨٥] استندت المبادئ التوجيهية للتصدي للطوارئ النووية إلى التقرير المؤقت بشأن تنقيح الدليل الرقابي للتأهب للطوارئ في المرافق النووية [93] الذي صدر في عام ٢٠١٢ [135].

[٨٦] تتمثل الصكوك القانونية الدولية الرئيسية في اتفاقية التبليغ المبكر عن وقوع حادث نووي واتفاقية تقديم المساعدة في حالة وقوع حادث نووي أو طارئ إشعاعي. وكانت معايير الأمان الدولية في مجال التأهب والتصدي للطوارئ وقت وقوع الحادث متمثلة في العدد GS-R-2 [69] والعدد GS-G-2.1 [68] من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة. كما تضمن العدد ١١٥ [137] من سلسلة الأمان الصادرة عن الوكالة عناصر متصلة بمجال التأهب والتصدي للطوارئ. وشملت الترتيبات التشغيلية الدولية دليل العمليات التقنية المتعلقة بالتبليغ عن حالات الطوارئ وتقديم المساعدة، وشبكة التصدِّي والمساعدة التابعة للوكالة الدولية للطاقة الذرية، والخطة المشتركة للمنظمات الدولية من أجل التصدي للطوارئ الإشعاعية.

طوكيو التواصل بين الوكالة وجهة الاتصال. وأوفدت الوكالة أيضاً بعثات خبراء إلى اليابان ونسقت التصدي المشترك فيما بين الوكالات.

واتخذت مختلف الدول[٨٧] إجراءات وقائية مختلفة أو أوصت مواطنيها في اليابان باتخاذها من أجل التصدي للحادث. ولم توضح هذه الاختلافات بشكل كامل في الإجراءات الوقائية بين الدول، وأثار ذلك أحياناً التباساً وقلقاً.

وتبادلت المنظمات ذات الصلة المشاركة في اللجنة المشتركة بين الوكالات المعنية بحالات الطوارئ الإشعاعية والنووية المعلومات بانتظام. وصدرت أيضاً نشرات صحفية مشتركة.

وأجرت الوكالة من خلال ترتيباتها الطارئة اتصالات مباشرة مع وكالة الأمان النووي والصناعي اليابانية التي كانت جهة الاتصال الرسمية في اليابان [143]. وقدمت اليابان معلومات وفقاً للمادة ٣ من اتفاقية التبليغ المبكر.

وتقاسمت أمانة الوكالة معلومات عن حالة الطوارئ أثناء تطورها وأبقت الدول والمنظمات الدولية ذات الصلة والجمهور على علم بالتطورات [143].

ولم يكن دور الوكالة في ذلك الوقت يشمل تقديم توقعات بشأن التطورات المحتملة للحوادث أو تقييم العواقب الممكنة. واتسع دور الوكالة في التصدي لحالات الطوارئ التي تقع في محطات القوى النووية من خلال اعتماد خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي [144]. وتطلب هذا الأمر من الوكالة تزويد الدول الأعضاء والمنظمات الدولية والجمهور العام بمعلومات مقدمة في الوقت المناسب وواضحة وصحيحة من حيث الحقائق وموضوعية وسهلة الفهم بشأن العواقب المحتملة لحالات الطوارئ، بما في ذلك تحليل المعلومات المتاحة وتوقع السيناريوهات المحتملة على أساس الأدلة والمعرفة العلمية وإمكانات الدول الأعضاء.

الإطار ٣-٤- الإطار الدولي للتأهب والتصدي للطوارئ النووية أو الإشعاعية وقت وقوع الحادث

تقع المسؤولية الرئيسية عن التأهب والتصدي لحالات الطوارئ النووية أو الإشعاعية على عاتق الدولة، كما تقع عليها المسؤولية الأولى عن حماية أرواح البشر وصحتهم وممتلكاتهم والبيئة. والدولة مسؤولة عن ضمان وضع ترتيبات للتأهب والتصدي للطوارئ على المستويات الوطنية والإقليمية والمحلية وعلى مستوى المنظمة المشغِّلة/المرفق. وتقع على الدولة أيضاً، حسب الاقتضاء، المسؤولية عن ضمان تنسيق الترتيبات الوطنية المتعلقة بالتأهب والتصدي للطوارئ مع الترتيبات الدولية ذات الصلة التي تكون الدولة قد انضمت إليها أو تكون طرفاً فيها على أي نحو آخر (وذلك على سبيل المثال من خلال اتفاقات ثنائية و/أو متعددة الجنسيات).

وتألف الإطار الدولي وقت وقوع الحادث من الصكوك القانونية الدولية، ومعايير الأمان الصادرة عن الوكالة، والترتيبات التشغيلية.

وتعهد اتفاقية التبليغ المبكر عن وقوع حادث نووي واتفاقية تقديم المساعدة في حالة وقوع حادث نووي أو طارئ إشعاعي المشار إليهما فيما يلي باتفاقية التبليغ المبكر واتفاقية تقديم المساعدة، إلى الوكالة وإلى الأطراف بوظائف ومسؤوليات محددة في مجال التصدي. وتقع على مختلف المنظمات الدولية، بمقتضى وظائفها المنصوص عليها في نظمها الأساسية أو بمقتضى الصكوك القانونية ذات الصلة ، وظائف ومسؤوليات تشمل جوانب من التأهب والتصدي للطوارئ [138, 139].

وتمثلت معايير الأمان الصادرة عن الوكالة في مجال التأهب والتصدي للطوارئ وقت وقوع الحادث في العدد GS-R-2 من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة (برعاية مشتركة من سبع منظمات دولية) والعدد GS-G-2.1 من سلسلة معايير أمان الوكالة (برعاية مشتركة من ست منظمات دولية) [68, 69]. وشملت أيضاً معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤيَّنة ولأمان المصادر الإشعاعية (العدد ١١٥ من سلسلة الأمان الصادرة عن الوكالة) أجزاء مرتبطة بالتأهب والتصدي للطوارئ [137].

[٨٧] وتتحمّل الدولة المسؤولية الرئيسية بشأن التأهب والتصدي لطارئ نووي أو إشعاعي، كما أنها تتحمل المسؤولية الرئيسية بشأن حماية حياة الإنسان وصحته والممتلكات والبيئة.

الإطار ٣-٤- الإطار الدولي للتأهب والتصدي للطوارئ النووية أو الإشعاعية وقت وقوع الحادث (تابع)

وشملت الترتيبات التشغيلية الدولية دليل العمليات التقنية المتعلقة بالتبليغ عن حالات الطوارئ وتقديم المساعدة، وشبكة الوكالة للتصدي والمساعدة، والخطة المشتركة للمنظمات الدولية من أجل التصدي للطوارئ الإشعاعية [142–140].

ويسَّر دليل العمليات التقنية المتعلقة بالتبليغ عن حالات الطوارئ وتقديم المساعدة تنفيذ مواد اتفاقية التبليغ المبكر واتفاقية تقديم المساعدة ذات الطابع التشغيلي، مثل الأحكام المتعلقة بالتبليغ وتبادل المعلومات وبروتوكولات الاتصال وجهات الاتصال المحددة بموجب اتفاقية التبليغ المبكر واتفاقية تقديم المساعدة (من خلال رسائل يمكن الرد عليها على مدار الساعة عن طريق الفاكس والخطوط الهاتفية والبريد الإلكتروني ومن خلال موقع إلكتروني آمن ومحمي). وكانت تلك التدابير موضوع تمارين منتظمة شملت مستويات مختلفة من التعقيدات أطلق عليها اسم تمارين الطوارئ في إطار الاتفاقيتين (ConvEx).

وأُنشئت شبكة الوكالة للتصدي والمساعدة من أجل تيسير تقديم المساعدة الدولية عند طلبها وامتثالاً لاتفاقية تقديم المساعدة. ويشكل هذا النظام آلية تشغيلية لتقديم المساعدة في مختلف المجالات التقنية بمساعدة من الإمكانات الوطنية المسجلة في الشبكة.

وتصف الخطة المشتركة للمنظمات الدولية من أجل التصدي للطوارئ الإشعاعية فهمًا مشتركًا للكيفية التي تتصرّف بها كل منظمة أثناء التصدي وعند وضع ترتيبات التأهّب لحالات الطوارئ النووية أو الإشعاعية. وتوفر الخطة المشتركة آلية للتنسيق وتوضح أدوار وإمكانات المنظمات الدولية المشاركة. ويتم إعدادها من قِبَل اللجنة المشتركة بين الوكالات المعنية بالتصدي للطوارئ الإشعاعية والنووية التي تقدم لها الوكالة خدمات الأمانة. وكانت اللجنة المشتركة بين الوكالات المعنية بالتصدي للطوارئ الإشعاعية والنووية تتألف وقت وقوع الحادث من ١٥ منظمة حكومية دولية.

وكان التواصل مع جهات الاتصال الرسمية في اليابان خلال المرحلة المبكرة من التصدي لحالة الطوارئ صعبا. وتحسنت الاتصالات بين الوكالة وجهة الاتصال بفضل الزيارة التي قام بها المدير العام للوكالة إلى اليابان في الفترة من ١٧ إلى ١٩ آذار/مارس ٢٠١١ وانتشار مسؤولي الاتصال بعد ذلك في طوكيو [143].

وأصدرت بعض الدول مشورة أو تعليمات محددة من أجل وقاية رعاياها في اليابان. ونصحت بعض الدول مواطنيها في اليابان بإتباع الأوامر والتوصيات الصادرة عن السلطات اليابانية في إطار التصدي لحالة الطوارئ، في حين أن بعض الدول الأخرى أصدرت مشورة اختلفت عما قدمته السلطات اليابانية ودول أخرى [145]. وعادت الاختلافات في التوصيات بين الدول إلى عوامل شتى، بما فيها الافتقار إلى المعلومات عن تطورات الحالة. ولم توضح تلك الاختلافات عموماً بصورة جيدة إلى الجمهور وأثارت أحياناً التباساً وقلقاً.

وأوفدت الوكالة بعثات من الخبراء إلى اليابان ونسقت عروض تقديم المساعدة من الدول الأعضاء إلى اليابان. ولم يتم الاحتكام إلى اتفاقية تقديم المساعدة ولم تُستخدم شبكة التصدي والمساعدة[٨٨] وقدمت الدول المساعدة إلى اليابان بصورة مباشرة. وساعد هذا الدعم حكومة اليابان على التصدي لحالة الطوارئ النووية التي شكَّلت، بالإضافة إلى تأثيرات الزلزال والتسونامي، تحدياً لقدرات التصدي الوطنية. ومن الصعوبات التي ووجهت في قبول المساعدة الدولية خلال المراحل الأولى من التصدي الوطني عدم وجود ترتيبات على الصعيد الوطني لتلقي تلك المساعدة [5, 143].

ووفقاً لمسؤولياتها، قامت أمانة الوكالة فوراً بتنشيط خطة العمل المشتركة للمنظمات الدولية من أجل التصدي للطوارئ الإشعاعية وبادرت بتنسيق التصدي فيما بين الوكالات. وتبادل أعضاء اللجنة المشتركة بين الوكالات المعنية بالتصدي للطوارئ الإشعاعية والنووية المعلومات، مع التركيز بصفة خاصة على التوصل إلى فهم مشترك لعواقب الحادث وتنسيق الجهود من أجل إبقاء الجمهور على علم بالتطورات. وعُقدت مداولات منتظمة عبر الفيديو حتى تموز/يوليه ٢٠١١. وصدرت أيضاً نشرات صحفية مشتركة.

---

[٨٨] تواصل أمانة الوكالة بالاشتراك مع الدول الأعضاء المسجلة في شبكة التصدي والمساعدة لتعزيز هذه الشبكة بالاستناد إلى الخبرة المكتسبة من حادث فوكوشيما داييتشي.

وكجزء من الاتفاقات الثنائية بين الأمانات، أوفدت منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية مسؤولي اتصال إلى الوكالة لضمان فعالية تنسيق التصدي الدولي.

٣-٦- الملاحظات والدروس

جُمعت عدة ملاحظات ودروس مستفادة نتيجة لتقييم التأهب والتصدي للطوارئ في حالة الحادث. وسلط التصدي للحادث الضوء على الدروس المستفادة من حالات الطوارئ السابقة وأكدت على أهمية الاستعداد الكافي للتصدي لأي طارئ.

— **يلزم عند التأهب للتصدي لطارئ نووي محتمل النظر في حالات الطوارئ التي يمكن أن تلحق أضراراً شديدة بالوقود النووي في قلب المفاعل أو الوقود المستهلك في الموقع، بما في ذلك حالات الطوارئ التي تشمل عدة وحدات في محطة متعددة الوحدات والتي يمكن أن تقع في نفس الوقت الذي تقع فيه كارثة طبيعية.**

ينبغي إيلاء المراعاة لإمكانية وقوع حادث نووي شديد بغض النظر عن سببه، وإمكانية أن ينطوي على أكثر من وحدة في موقع وتزامنه مع كارثة طبيعية، وهو ما يمكن أن يسفر عن اختلال في الموقع وتعطيل للبنية الأساسية المحلية. ويتعيَّن أن تكون نُظم الاتصالات ومعدات الرصد اللازمة لتوفير المعلومات الأساسية اللازمة للتصدي داخل الموقع وخارجه قادرة على العمل في تلك الظروف.

وينبغي اختيار المرافق التي ستُدار فيها عمليات التصدي (مثل مراكز التصدي للطوارئ داخل الموقع وخارجه) أو تعيينها كي تعمل في كل ظروف الطوارئ (الإشعاعية، وظروف العمل، والظروف البيئية)، وينبغي إنشاؤها في مكان مناسب و/أو وقايتها من أجل ضمان إمكانية تشغيلها وصلاحيتها للإيواء في تلك الظروف.

— **ينبغي أن يشمل نظام إدارة الطوارئ من أجل التصدي لطارئ نووي أدواراً ومسؤوليات محدَّدة بوضوح للمنظمة المشغِّلة وللسلطات المحلية والوطنية. وينبغي اختبار هذا النظام، بما يشمل التفاعلات بين المنظمة المشغلة والسلطات، بانتظام في التمارين.**

يلزم وضع ترتيبات تدمج التصدي لحالات الطوارئ النووية مع التصدي للكوارث الطبيعية والكوارث البشرية المنشأ (مثل الزلازل والفيضانات والحرائق).

وينبغي أن يدير التصدي داخل الموقع عاملون في الموقع لديهم معرفة بالمحطة وبالحالة. وينبغي تنسيق عمليات التصدي داخل الموقع وخارجه على أساس ترتيبات يتم التخطيط لها مسبقاً.

— **ينبغي تعيين عمال الطوارئ، وإسناد واجبات محدَّدة بوضوح إليهم في مرحلة التأهب بصرف النظر عن المنظمة التي يعملون معها، وتزويدهم بالتدريب الكافي والوقاية السليمة أثناء حالة الطوارئ. كما ينبغي وضع ترتيبات كي يشمل التصدي عمال الطوارئ الذين لم يعينوا بهذه الصفة قبل وقوع حالة الطوارئ، ومقدمي المساعدة الذين يتطوعون للمساعدة في التصدي للطوارئ.**

ينبغي معالجة الترتيبات العملية لوقاية عمال الطوارئ بطريقة متسقة وبما يكفي من التفصيل في الخطط والإجراءات ذات الصلة. وينبغي أن يوضع في الحسبان عمال الطوارئ الذين ربما لم يعيّنوا بهذه الصفة في مرحلة التأهب. كما ينبغي تحديد معايير الجرعات لعمال الطوارئ مسبقًا وينبغي تطبيق تلك المعايير بطريقة متسقة فيما يتعلق بالواجبات التي تُسند إليهم في حالات الطوارئ. وينبغي وضع ترتيبات لضمان رفاه عمال الطوارئ (بما في ذلك اتصالهم بأسرهم).

وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي التخطيط مسبقاً للترتيبات الخاصة بأفراد الجمهور (المشار إليهم باسم 'مقدمي المساعدة') الذين يتطوعون للمساعدة في إجراءات التصدي من أجل دمجهم في جهاز التصدي للطوارئ وتزويدهم بمستوى مناسب من الوقاية من الإشعاعات.

— **ينبغي وضع ترتيبات تسمح باتخاذ قرارات بشأن تنفيذ إجراءات عاجلة محدَّدة سلفاً لوقاية الجمهور على أساس الظروف المحددة سلفاً في المحطة.**

هذه الترتيبات ضرورية لأن نُظم دعم اتخاذ القرار، بما في ذلك استخدام النماذج الحاسوبية، قد لا تتمكَّن في حالات الطوارئ من التنبؤ بحجم الانبعاثات المشعة وتوقيتها ('حد الإفلات') وتحركات الغيوم ومستويات الترسب أو الجرعات الناتجة بالسرعة أو الدقة الكافية التي تجعلها تشكِّل الأساس الوحيد للبت في الإجراءات الوقائية العاجلة الأوَّلية.

وينبغي في مرحلة التأهب وضع نظام لتصنيف الطوارئ استنادًا إلى الظروف القابلة للمشاهدة والمعايير القابلة للقياس (المستويات الموجِبة لاتخاذ إجراءات الطوارئ). ويمكِّن هذا النظام من إعلان حالة الطوارئ بعد فترة وجيزة من اكتشاف ظروف في المحطة تشير إلى ضرر فعلي أو متوقع يصيب الوقود، والشروع في إجراءات وقائية عاجلة محدَّدة سلفاً من أجل وقاية الجمهور (في مناطق محددة مُسبَّقاً) فور تصنيف حالة الطوارئ من جانب الجهة المشغِّلة. وينبغي أن يغطي نظام تصنيف الطوارئ كل مجموعة الظروف غير العادية في المحطة.

— **ينبغي وضع ترتيبات للتمكين من توسيع الإجراءات الوقائية العاجلة أو تعديلها عند التصدي لتطورات الأوضاع في المحطة أو الاستناد إلى نتائج الرصد. ويلزم أيضاً وضع ترتيبات للتمكين من الشروع في إجراءات وقائية مبكرة على أساس نتائج الرصد.**

ينبغي في مرحلة التأهب وضع ترتيبات تشمل أمورًا منها: (١) تحديد مناطق ومجالات التخطيط للطوارئ؛ (٢) تحديد معايير الجرعات والمعايير التشغيلية (مستويات المقادير القابلة للقياس) الموجبة لاتخاذ إجراءات وقائية عاجلة وغيرها من إجراءات التصدي، بما يشمل الفئات السكانية الخاصة داخل مناطق الطوارئ (مثل المرضى في المستشفيات)؛ (٣) التمكين من اتخاذ إجراءات وقائية عاجلة قبل انطلاق مواد مشعة أو بعده بفترة وجيزة؛ (٤) التمكين من فرض ضوابط على الدخول فوراً في الحالات التي تُتخذ فيها إجراءات وقائية عاجلة؛ (٥) توسيع الإجراءات الوقائية خارج المناطق والأماكن المحدَّدة للتخطيط للطوارئ، عند اللزوم؛ (٦) وضع معايير للجرعات ومعايير تشغيلية لاتخاذ إجراءات وقائية مبكِّرة وإجراءات أخرى للتصدي، مثل الترحيل وفرض قيود على الأغذية، بحيث تكون تلك الإجراءات مُبررة وفي حدودها المثلى، مع مراعاة مجموعة من العوامل من قبيل العواقب الإشعاعية وغير الإشعاعية، بما فيها العواقب الاقتصادية والاجتماعية والنفسية؛ (٧) وضع ترتيبات لتنقيح المعايير التشغيلية من أجل اتخاذ إجراءات وقائية مُبكِّرة تبعاً للظروف السائدة.

— **ينبغي وضع ترتيبات للتأكد من أن نفع الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى في حالات الطوارئ النووية يفوق ضررها. وينبغي وضع نهج شامل في اتخاذ القرارات من أجل ضمان تحقيق ذلك التوازن.**

ينبغي وضع تلك الترتيبات مع الفهم الواضح للطائفة الواسعة من المخاطر الصحية التي يمكن التعرض لها في حالة وقوع طارئ نووي وللعواقب الإشعاعية وغير الإشعاعية التي يمكن أن تنشأ عن أي إجراءات وقائية.

وينبغي اتخاذ إجراءات وقائية في الوقت المناسب وعلى نحو مأمون، مع مراعاة الظروف غير المؤاتية المحتملة (مثل الأحوال الجوية الشديدة أو الأضرار التي تصيب البنية الأساسية). ويلزم

إجراء استعدادات مُسبَّقة لضمان الإخلاء المأمون للمرافق الخاصة، مثل المستشفيات ودور الرعاية، ويجب المواصلة في تقديم الرعاية أو الإشراف باستمرار إلى المحتاجين من ذلك.

— **يلزم وضع ترتيبات لمساعدة صناع القرار والجمهور وغيرهم (مثل الموظفين الطبيين) على فهم الأخطار الصحية الإشعاعية في حالات الطوارئ النووية من أجل اتخاذ القرارات عن علم بشأن الإجراءات الوقائية. ويلزم أيضاً وضع ترتيبات لمعالجة شواغل الجمهور محلياً ووطنياً ودولياً.**

يلزم معالجة قلق الجمهور بفعالية في حالات الطوارئ النووية. ويشمل ذلك وسائل ربط المقادير المقابلة للقياس (مثل معدلات الجرعات) والجرعات الإشعاعية المتوقعة بالمخاطر الصحية الإشعاعية على نحو يسمح لصناع القرار (والجمهور) باتخاذ إجراءات عن علم بشأن الإجراءات الوقائية. وتسهم معالجة بواعث قلق الجمهور في التخفيف من العواقب الإشعاعية وغير الإشعاعية الناجمة عن حالة الطوارئ.

ويمكن معالجة بواعث القلق الدولية في جانب منها عن طريق نُظم الاعتماد لإثبات أن السلع القابلة للتداول التجاري تفي بالمعايير الدولية ولطمأنة الدول المستوردة والجمهور.

— **يلزم وضع ترتيبات في مرحلة التأهب من أجل إنهاء الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى والانتقال إلى مرحلة التعافي.**

ينبغي التخطيط في مرحلة التأهب للانتقال من مرحلة الطوارئ إلى مرحلة التعافي على الأجل الطويل، واستئناف الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية المعتادة، بما في ذلك: (١) إرساء عمليات رسمية للبت في إنهاء الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى؛ (٢) توزيع المسؤوليات توزيعاً واضحاً في تلك العمليات؛ (٣) وضع معايير لإنهاء الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى؛ (٤) وضع استراتيجية وعملية للتشاور مع الجمهور.

— **تحليل حالة الطوارئ والتصدي لها في الوقت المناسب واستخلاص الدروس المستفادة منها وتحديد التحسينات الممكنة يعزِّز ترتيبات الطوارئ.**

ينبغي أن يشمل ذلك التحليل استعراضا لجميع الترتيبات ذات الصلة، بما يشمل، القوانين واللوائح الوطنية، وتوزيع السلطات والمسؤوليات، وخطط وإجراءات التصدي، والمرافق، والمعدات، والتدريب والتمارين. ويشكِّل التحليل الأساس لتنقيح الترتيبات، حسب اللزوم. وينبغي إثبات كفاية ترتيبات الطوارئ من خلال التمارين.

— **ينبغي تقوية تنفيذ الترتيبات الدولية المتعلقة بالتبليغ وتقديم المساعدة.**

ينبغي زيادة الوعي بالترتيبات الدولية المتعلقة بالتبليغ وتقديم المساعدة في حالات الطوارئ النووية أو الإشعاعية، وكذلك الآليات التشغيلية القائمة، بما في ذلك آليات وإجراءات التبليغ وتبادل المعلومات من أجل طلب وتقديم المساعدة الدولية وغيرها. وهنالك حاجة إلى تعزيز التدريب والتمرين على الجوانب التشغيلية في اتفاقية التبليغ المُبكر واتفاقية تقديم المساعدة.

وينبغي أن تشكِّل المشاركة في الآليات القائمة المتعلقة بتوفير المساعدة الدولية بموجب اتفاقية تقديم المساعدة جزءاً لا يتجزأ من الجهود الوطنية للتأهب للطوارئ. كما ينبغي أن تكون هنالك ترتيبات قائمة في مرحلة التأهب لطلب وتلقي المساعدة (على أساس اتفاقات ثنائية أو بموجب اتفاقية تقديم المساعدة) في حالات الطوارئ النووية أو الإشعاعية.

وينبغي أن تكون القائمات بجهات الاتصال المعيَّنة رسمياً، حسب ما تقتضيه اتفاقية التبليغ المبكر واتفاقية تقديم المساعدة، محدَّثة وجاهزة باستمرار للطلبات الفورية المتعلقة بالحصول على معلومات من الوكالة.

ومن شأن تطبيق معايير الأمان الصادرة عن الوكالة بشأن التأهب والتصدي للطوارئ على المستوى الوطني أن يحسِّن التأهب والتصدي، وأن ييسِّر الاتصال في حالات الطوارئ ويسهم في تنسيق المعايير الوطنية بشأن الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى.

— **يلزم تحسين التشاور وتقاسم المعلومات بين الدول بشأن الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى.**

يساعد التشاور وتقاسم المعلومات بشأن الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى بين الدول في حالات الطوارئ على ضمان اتخاذ الإجراءات بصورة متسقة. وبالإضافة إلى ذلك، من الحاسم شرح الأساس التقني الذي تستند إليه القرارات المتعلقة بالإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى بطريقة واضحة ومفهومة من أجل زيادة الفهم والقبول لدى الجمهور على المستويين الوطني والدولي.

٤- العواقب الإشعاعية

يتطرَّق القسم ٤ للعواقب الإشعاعية لحادث محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية على الناس والبيئة. وقد تناول عدد من المنظمات والهيئات الدولية العواقب الإشعاعية للحادث. وأصدرت منظمة الصحة العالمية تقديرات أولية للجرعات الإشعاعية [146] وقدَّرت بعد ذلك الخطر الذي يعزى إلى الحادث [147]. وفي الآونة الأخيرة، أجرت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري تقييمًا لمستويات الإشعاعات وآثارها [148]. وتولَّت اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات تجميع الدروس المستفادة من الوقاية من الإشعاعات [149, 150]. كما قدَّمت منظمات دولية أخرى، ولا سيما منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية، معلومات ذات صلة. ويقدِّم الإطار ٤-١ وصفًا لبعض هذه الأنشطة الدولية.

الإطار ٤-١- الأنشطة الدولية المتصلة بالعواقب الإشعاعية لحادث محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية

بالإضافة إلى الوكالة، نشطت هيئات دولية أخرى في تناول العواقب الإشعاعية لحادث محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية، وهي:

- منظمة الصحة العالمية، وهي وكالة متخصصة تابعة للأمم المتحدة تُعنى بالصحة العامة، أصدرت تقديرات أولية للجرعات الإشعاعية التي يتم تلقيها بسبب الحادث [146] وأجرت بعد ذلك تقييمًا للمخاطر الصحية [147].
- لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، وهي لجنة تابعة للجمعية العامة للأمم المتحدة، قدَّمت تقريرًا بتقديراتها لمستويات وآثار التعرض للإشعاعات التي تُعزى إلى وقوع الحادث، بما في ذلك كمية هائلة من البيانات بشأن النشاط الإشعاعي البيئي والجرعات الإشعاعية [148].
- اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات، وهي هيئة دولية غير حكومية تضم خبراء وتصدر توصيات تُستخدم على نطاق واسع بشأن الوقاية من الإشعاعات، وقد أصدرت استعراضًا لقضايا الوقاية من الإشعاعات أثناء وقوع الحادث وبعده، وذلك بهدف تحسين النظام الدولي للوقاية من الإشعاعات [149, 150].
- منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، وهي وكالة متخصصة تابعة للأمم المتحدة تعنى بالزراعة والغابات وممارسات مصايد الأسماك لضمان التغذية الجيدة والأمن الغذائي للجميع، وقد عملت بالاشتراك مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية، من خلال اللجنة المشتركة بين الوكالات المعنية بالتصدي للطوارئ الإشعاعية والنووية، على التأهب والتصدي للطوارئ النووية أو الإشعاعية التي تؤثر في الأغذية والزراعة والغابات ومصايد الأسماك، وجمعت قاعدة بيانات ضخمة بشأن تركيزات النويدات المشعة في الأغذية بسبب الحادث [151].
- المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، وهي وكالة متخصصة تابعة للأمم المتحدة تُعنى بالأرصاد الجوية والهيدرولوجيا التشغيلية وما يتصل بذلك من علوم جيوفيزيائية، وقد أصدرت تقييمًا للتحليلات الجوية لتشتت النويدات المشعة وترسباتها بسبب الحادث [152].
- وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، التي قدَّمت تقريرًا عن التصدي للحادث من حيث الأمان النووي والدروس المستفادة منه [153].
- وقد تشاركت هذه المنظمات وغيرها من المنظمات، مثل برنامج الأمم المتحدة للبيئة ومنظمة العمل الدولية ومنظمة الصحة للبلدان الأمريكية والمفوضية الأوروبية، في رعاية *معايير الأمان* الدولية التي تصدر تحت إشراف الوكالة. وتضع منظمة الصحة العالمية *دلائل جودة مياه الشرب* لكي تُستَخدم في حالات التعرض القائمة، وهي دلائل تحتوي على بارامترات لقياس النشاط الإشعاعي في المياه الصالحة للشرب [154]. ووضعت هيئة الدستور الغذائي التابعة للفاو ومنظمة الصحة العالمية الدستور الغذائي، وهو مجموعة من المعايير الغذائية المنسقة دوليًا لحماية صحة المستهلكين وضمان الممارسات العادلة في تجارة الأغذية الدولية، وهو يحتوي على معايير بشأن وجود النويدات المشعة في الأغذية [155].

وأجرت هيئات رسمية في العديد من الدول، ومنها اليابان، تقييمات عديدة للعواقب الإشعاعية لحادث محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية (على سبيل المثال، المرجع [5]). وحدَّدت منظمات وطنية للوقاية من الإشعاعات المهنية، في اليابان وأماكن أخرى، دروسًا هامة في مجال الوقاية من الإشعاعات (على سبيل المثال،

المرجع [156]). وأطلقت محافظة فوكوشيما الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما [157] في حزيران/يونيه ٢٠١١ [158]. ونوقشت هذه الدراسة الاستقصائية، التي يصفها الإطار ٤-٢، في ندوة الخبراء الدوليين في فوكوشيما [159, 160].

الإطار ٤-٢- الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما

الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما هي استقصاء واستطلاع عام للحالة الصحية للأشخاص في محافظة فوكوشيما [157]. وهي تستند إلى سلسلة من الاستبيانات وتعمل على تحقيق الأهداف التالية: "(١) تقييم الجرعات الإشعاعية التي تلقاها السكان، (٢) ورصد الظروف الصحية للسكان، مما يؤدي إلى وقايتهم من الأمراض والكشف المبكر عنها وتوفير العلاج الطبي في وقت مبكر، (٣) وبالتالي الحفاظ على صحتهم في المستقبل وتعزيزها" [161].

وبعد التصدي للحادث، قدَّر المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية الجرعات الفعالة الناجمة عن حالات التعرض الخارجي للإشعاعات التي تم تلقيها في الأشهر الأربعة التالية للحادث النووي استنادًا إلى تحركات المشاركين المسجَّلة، إلى جانب فهم مستويات الإشعاعات ذات الصلة. وبالإضافة إلى ذلك، كانت هناك دراسات استقصائية مفصَّلة شملت ما يلي: (١) إجراء فحوصات بالموجات فوق الصوتية للغدة الدرقية، شملت نحو ٣٧٠ ٠٠٠ من السكان الذين تتراوح أعمارهم بين ٠ و١٨ سنة في وقت وقوع الحادث النووي (أُجري الفحص الأولي في غضون السنوات الثلاث الأولى بعد وقوع الحادث، وتلاه إجراء فحوصات شاملة للغدة الدرقية من عام ٢٠١٤ فصاعدًا، فضلاً عن إجراء رصد دوري للسكان بعد ذلك)؛ (٢) وإجراء فحص صحي شامل بهدف الكشف المبكر عن الأمراض والعلاج منها، وكذلك الوقاية من الأمراض المتصلة بنمط الحياة، وكان الهدف الرئيسي فحص ٢١٠ ٠٠٠ من السكان القاطنين سابقًا في مناطق الإجلاء الذين تغيرت أنماط حياتهم بشكل كبير بعد الحادث (تجري اختبارات إضافية، مثل أعداد الكريات البيضاء التفاضلية، إلى جانب الاختبارات الروتينية المدرجة في الفحوصات الطبية العامة في مكان العمل أو الفحوصات التي تجريها الحكومة المحلية)؛ (٣) وإجراء دراسة استقصائية للصحة العقلية ونمط الحياة بهدف توفير الرعاية المناسبة ولا سيما للأشخاص الذين تم إجلاؤهم والمعرضين بشكل أكبر لمواجهة مشاكل صحية عقلية مثل اضطرابات الإجهاد والقلق اللاحقة للصدمة؛ (٤) وإجراء دراسة استقصائية بشأن الحمل والولادة بهدف توفير الرعاية الطبية المناسبة والدعم للأمهات اللواتي حصلن على دليل صحة الأم والطفل في الفترة بين ١ آب/أغسطس ٢٠١٠ و٣١ تموز/يوليه ٢٠١١، وكذلك توفير تلك الرعاية لأطفالهن. (يتم تحديث هذه الدراسة الاستقصائية كل سنة لكي تراعي البيانات الجديدة، ولا سيما البيانات بشأن الحمل والولادات [162].)

وأُسنِدت إلى جامعة فوكوشيما الطبية مهمة إجراء دراسة استقصائية صحية من طرف محافظة فوكوشيما وأطلق مركز العلوم الطبية الإشعاعية المعني بالدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما من أجل إجراء دراسة استقصائية أساسية لتقديرات الجرعات الخارجية وإجراء أربع دراسات استقصائية مفصَّلة. ويجري تقييم الدراسة الاستقصائية وتقييم نتائجها بشكل دوري من طرف اجتماع لجنة الإشراف على المحافظات لأغراض الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما.

يستند هذا القسم إلى البيانات والتقييمات والتقديرات الدولية والوطنية من خلال استخدام المعلومات الجديدة، ولا سيما المعلومات التي قدَّمتها السلطات اليابانية إلى الوكالة من أجل إعداد هذا التقرير. وتجدر الإشارة إلى أن التقديرات الواردة في مختلف التقارير الدولية والوطنية قد أُجرِيت في أوقات مختلفة وبمستويات مختلفة من المعلومات. لذلك فبينما يمكن إجراء بعض المقارنات المباشرة بين مختلف النتائج، فإنَّ الاختلافات بين بيانات ومنهجية وتواريخ الدراسات تجعل إجراء أي مقارنة مفصلة عملية صعبة.

الكميات والوحدات

استُخدمت *الكميات*[٨٩] *والوحدات*[٩٠] الدولية المتخصصة [163, 164] من أجل رصد البيانات الإشعاعية عن الحادث والإبلاغ عنها. ويرد في الإطار ٤-٣ وصف موجز للكميات والوحدات الدولية الأساسية للوقاية من الإشعاعات والتي تُستخدَم في هذا التقرير.

---

[٨٩] يُستخدم المصطلح *"كمية"* في هذا التقرير بمعناه العلمي للدلالة على *خاصية* قابلة للقياس، وفي هذه الحالة على ظاهرة مثل النشاط الإشعاعي أو الإشعاعات.

[٩٠] *وحدة الكمية* هي حجم محدد من هذه الكمية، ويُستخدم على أنه معيار للقياس.

الإطار ٤-٣- الكميات والوحدات الأساسية للوقاية من الإشعاعات والمُستخدمة في هذا التقرير

يُطلَق على الكمية المستخدمة لوصف النشاط الإشعاعي *"النشاط"* ويُطلَق على وحدة قياس هذا النشاط *"بكريل"*. ويُمثِّل بكريل واحد مستويات صغيرة جدًا من النشاط. فجسم الإنسان يحتوي مثلاً على ما يقارب ٥٠٠٠ بكريل من البوتاسيوم-٤٠ المشع طبيعيًا (بالنسبة لشخص يبلغ وزنه ٧٠ كغ، مع وجود ١٤٠ غرام من البوتاسيوم في الجسم). لذلك ومن أجل قياس الانبعاثات الكبيرة من النويدات المشعة جراء الحادث، تُستخدم بادئة مناسبة في هذا التقرير، ألا وهي بيتا: ١ بيتابكريل يساوي 10^{15} بكريل.

وأدت انبعاثات المواد المشعة إلى تعرض الأشخاص للإشعاعات المؤيِّنة، من خلال *التعرض الخارجي* عندما كان النشاط خارج الجسم، وكذلك بواسطة *التعرض الداخلي*، عندما تغلغلت النويدات المشعة داخل الجسم (مثلاً عن طريق الابتلاع أو الاستنشاق أو عن طريق الجلد). ويُطلَق على الكمية التي تصف التعرض المتوسط للإشعاعات التي تتلقاها الأعضاء والأنسجة *"الجرعة الممتصة"* ووحدة قياسها هي جول في الكيلوغرام الواحد ويُطلَق عليها *"غراي"*، ويُعبَّر عنها غالبًا بأجزاء من ألف غراي أو *ملّي غراي*.

ولأغراض الوقاية من الإشعاعات، ينبغي ترجيح الجرعة الممتصة لأن مختلف الأنواع من الإشعاعات لها مستويات متفاوتة من الفعالية في التسبب في الضرر، ولأن مختلف الأعضاء والأنسجة لها حساسيات مختلفة للتعرض للإشعاعات. وتسمى الكمية الناجمة عن تطبيق المعاملات الإشعاعية الترجيحية على الجرعة التي تمتصها الأعضاء والأنسجة *"الجرعة المكافئة"*، ويُطلق على وحدتها *"السيفرت"*، ويُعبَّر عنها عادة بأجزاء من ألف سيفرت أو *"ملّي سيفرت"*. وفي التقرير، تُستخدم كذلك أجزاء من ألف ملّي سيفرت أو *ميكروسيفرت*. وتُسمى الكمية الناجمة عن تطبيق *معاملات ترجيح الأنسجة "الجرعة الفعالة"* وتُقاس أيضًا بملّي سيفرت. ورغم وجود بعض الاختلاف بين الأفراد من حيث تأثير تعرض ما للإشعاعات، فإنَّ الجرعات تُقدَّر، لأغراض الوقاية من الإشعاعات، كما لو تلقاها فرد مرجعي مثالي محدد، إذ ليس من الممكن أخذ الاختلافات بين الأفراد في الحسبان.

وتُستخدم *الجرعة الممتصة والجرعة المكافئة* فيما يتعلق بالجرعات التي تتلقاها الأنسجة والأعضاء. ونظرًا لنوع الإشعاع المعني، فقد كانت الجرعات الممتصة المذكورة في التقرير مساوية عدديًا للجرعات المكافئة المناظرة والعكس بالعكس، وذلك في جميع حالات التعرض للإشعاعات الناجمة عن الحادث (باستثناء حالات التعرض البسيطة للنيوترونات). وتُستخدم الجرعة الممتصة لتقييم الآثار المترتبة على الجسم كله. وسيستمر التعرض الخارجي طالما تظلُّ المواد المشعة التي تم استنشاقها أو ابتلاعها في الجسم. وتُحسب الجرعة المودعة التي تسبب فيها استمرار هذا التعرض على أنها الجرعة المتوقعة طيلة عمر الشخص المتعرِّض لهذه الجرعة.

وترد التقديرات التالية للجرعات الفعالة التي يتم تلقيها عمومًا على أنها تقديرات مرجعية [165]:

- تُطلق الإشعاعات الأساسية الطبيعية العالمية جرعة فعالة متوسطة تبلغ ٢,٤ ملّي سيفرت سنويًا، مع وجود حجم نموذجي يتراوح بين ١ و١٣ ملّي سيفرت، ووجود مجموعات سكانية ضخمة تتلقى جرعات تصل إلى ١٠-٢٠ ملّي سيفرت وإلى قرابة ١٠٠ ملّي سيفرت في الحالات القصوى.
- تبلغ الجرعة الفعالة السنوية المتوسطة عالميًا بسبب التشخيص الإشعاعي الطبي ٠,٦ ملّي سيفرت، ويمكن أن يُطلق فحص واحد بالتصوير المقطعي الحاسوبي جرعة فعالة تبلغ قرابة ١٠ ملّي سيفرت. (تجدر الإشارة إلى أنَّ التعرض الطبي يتمركز عادة في جزء من الجسم، أي أنه لا يوزَّع بشكل موحَّد في الجسم.)

وتُستمد الكميات الأخرى المستخدمة في الممارسة العملية من الكميات الأساسية للوقاية من الإشعاعات. ويصف الإطار ٤-٤ بعض هذه الكميات المنبعثة وعدد القضايا ذات الصلة. ولم يكن من السهل أن يفهم الجمهور الكميات والوحدات العديدة في أعقاب الحادث. وخلصت اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات، في تقييمها للقضايا المتعلقة بالوقاية من الإشعاعات والتي نشأت بعد وقوع الحادث، إلى ضرورة اتخاذ إجراءات دولية في المستقبل لضمان "حل أي لبس بشأن كميات ووحدات الوقاية" [149].

الإطار ٤-٤- كميات القياس والمصطلحات التشغيلية

إنَّ كميات الوقاية من الجرعة المكافئة والجرعة الفعالة غير قابلة للقياس مباشرة. لذلك، فإنَّ أدوات قياس التعرض الخارجي للإشعاعات سواء تلك التي يتلقاها الأشخاص أو تلك الموجودة في البيئة (أو في المحيط) تتم معايرتها وفقًا للكميتين التشغيليتين اللتين يُطلق عليهما *مكافئ الجرعة الشخصية ومكافئ الجرعة المحيطة* على التوالي. وهي *بدائل* لكميات الوقاية، أي أنها كمية مقاسة تُستخدم للدلالة على قيمة الكمية المعنية، وهي تُقاس كذلك بملّي سيفرت. وقد كانت هذه الكميات التشغيلية تُستخدم للرصد في أعقاب الحادث وهي تُستخدم في التقرير عند الإشارة إلى القيم المرصودة.

تُستخدم بحسب نوع حالة التعرض مصطلحات لتسهيل تفسير مفهوم مراقبة التعرض، وذلك على النحو التالي:

— في حالات التعرض المخطط لها[1]، تُستخدم الجرعة الإضافية المتوقع أن يُضيفها أي نشاط تشغيلي. وبالنسبة لهذه الحالات، تُعرف قيود الجرعات الفردية ذات الصلة على أنها حدود الجرعات. وحدود الجرعات هي قيم الجرعات الفعالة الإضافية أو الجرعات المكافئة الإضافية التي يتعرض لها الأفراد والمتوقعة من حالة تعرض مخطط لها والتي لا ينبغي تجاوزها؛ وهي تنطبق على الجرعات الفردية الإضافية الناجمة عن التعرض الخارجي في فترة زمنية محددة بالإضافة إلى الجرعة الفردية الإضافية المودعة والناجمة عن الأخذ الداخلي للنويدات المشعة في تلك الفترة الزمنية.

— وفي حالات التعرض الطارئة[2]، تُستخدم ثلاثة مفاهيم من الجرعات وهي: (١) الجرعة المتوقعة (جرعة يمكن توقع تلقيها في حالة عدم اتخاذ إجراءات وقائية)؛ (٢) والجرعة الممكن تلافيها (جرعة كان من الممكن تلافيها لو تم اتخاذ إجراء وقائي)؛ (٣) والجرعة المتبقية (الجرعة المتوقع تلقيها في حالات التعرّض القائمة[3] والمتبقية بعد انتهاء الإجراءات الوقائية). وتُطبَّق المستويات المرجعية على الجرعات المتبقية على أنها مستويات إرشادية لتحقيق المستوى الأمثل من الوقاية. وتجسِّد هذه المستويات مستوى الجرعة "الذي يعتبر أنه من غير الملائم، عند تجاوزه، التخطيط للسماح بحصول التعرّض، وأنه من الضروري، عند بقاء الجرعة دون ذلك المستوى، تحقيق المستوى الأمثل من الوقاية" [129].

وهناك أيضًا كميات منبعثة من النشاط، مثل الكميات المتصلة بوجود نشاط إشعاعي في البيئة تعبِّر، على سبيل المثال، عن النشاط في الأرض أو في منتجات الاستهلاك العام. والكميات المنبعثة ذات الصلة هي *كثافة الترسُّب* وتعبِّر عن النشاط لكل وحدة مساحة، ويُعبَّر عنها عادة بالوحدة بكريل/م^2؛ *والنشاط النوعي*، الذي يعبِّر عن النشاط لكل وحدة كتلة أو وزن، ويعبَّر عنه عادة بالوحدة بكريل/كغ، *وتركُّز النشاط*، الذي يعبِّر عن النشاط لكل وحدة حجم، ويُعبَّر عنه عادة بالوحدة بكريل/لتر. وعادة ما يشار إلى هذه الكميات على أنها *التلوث*. ويعرَّف هذا المصطلح رسميًا في المعايير الدولية على النحو التالي: (١) *وجود* نويدات مشعة على الأسطح، أو ضمن مواد صلبة أو سائلة أو غازية (بما في ذلك جسم الإنسان)، حيث يكون وجودها غير مقصود أو غير مرغوب فيه، (٢) أو *العملية* المؤدية إلى وجود هذه النويدات في مثل هذه الأماكن، وفي كلتا الحالتين دون وجود أي مؤشر لحجم الخطر الموجود. ولكن مصطلح *"التلوث"* يحمل دلالات الشوائب أو الخطر غير المقصود في معناه الرسمي كوجود النويدات أو العملية المؤدية إلى وجودها.

---

[1] تنشأ *حالات التعرض المخطط* لها من عملية تشغيل المصادر الإشعاعية المخطط لها (مثل التشغيل العادي لمحطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية) أو من العمليات المخطط لها المؤدية إلى التعرض الناتج عن المصادر. وبما أنه يمكن توفير الوقاية والأمان مسبقًا من الممكن الحد من حالات التعرض للإشعاعات منذ البداية. ومن الممكن توقع حصول مستوى معيّن من التعرّض في حالات التعرّض المخطط لها.

[2] تشمل *حالات التعرض الطارئة* التعرض الذي ينشأ نتيجة حادث والذي يتطلب إجراءات سريعة من أجل تفادي العواقب السلبية أو تقليصها.

[3] *حالات التعرّض القائمة* هي حالات تعرض قائمة بالفعل في الوقت الذي يكون من الضروري اتخاذ قرار بشأن الحاجة إلى المراقبة وهي تشمل التعرض الناجم عن مواد مشعة متبقية ناشئة عن طارئ نووي أو إشعاعي بعد الإعلان عن انتهاء حالة التعرض الطارئة.

حالات عدم التيقن

إنَّ تقديرات العواقب الإشعاعية للحادث هي تقديرات تخضع لعدد من حالات عدم التيقن، وغالبًا ما يُعبَّر عنها على أنها مجموعة من القيم المرجحة للكميات ذات الصلة. وقد تم حصر بعض حالات عدم التيقن هذه بعد إجراء تحليل إحصائي للمتغيّرات الحاصلة، مثل المتغيرات في تقديرات الجرعة الإشعاعية الشخصية بسبب التعرض الخارجي، ولكن لم يتم تسوية جميع حالات عدم التيقن. ورغم أن المخاطر التي ينطوي عليها التعرض للإشعاعات تُفهَم بأسلوب أفضل من المخاطر التي ينطوي عليها التعرض للعوامل الأخرى، من المهم التعامل مع حالات عدم التيقن ذات الصلة والإبلاغ عنها بأسلوب سليم [166, 167].

التحليلات الإحصائية

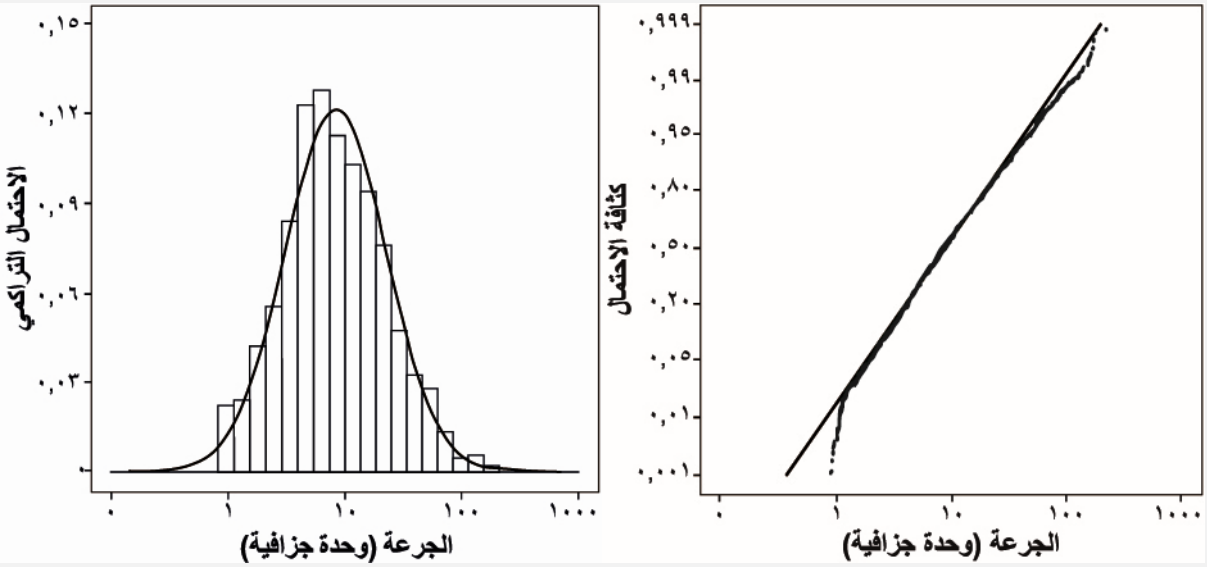
من أجل التعامل مع حالات عدم التيقن، أُجريت تحليلات إحصائية لبعض البيانات المتغيرة ذات الصلة. وتنطوي المتغيرات على النشاط النوعي في الأغذية ولا سيما الجرعات الإشعاعية الشخصية. وتشمل تحليلات الجرعات الإشعاعية التقديرات القائمة على استخدام الاستبيانات وبيانات الإشعاعات المحيطة والبيئية، والتقديرات القائمة على الرصد الشخصي من خلال أجهزة قياس الجرعات الشخصية وعداد جرعات النشاط الإشعاعي المتغلغل في الجسم بمجمله. ويرد تلخيص للأساس الذي تقوم عليه التحليلات الإحصائية في الإطار ٤-٥ الذي يصف التوزيعات الاحتمالية للبيانات، لا سيما التوزيع الاحتمالي اللوغاريثمي الطبيعي الذي استُخدم بالتحديد في التحليلات. وهناك العديد من الظروف التي يُتوقَّع أن توزَّع فيها بيانات قياسات متنوعة، بما في ذلك قياسات الكميات البيئية، باتباع توزيع احتمالي لوغاريثمي-طبيعي تقريبي. وهناك حجم ضخم من المعلومات المتاحة

بشأن التوزيع الإحصائي للجرعات التي يتلقاها السكان المعرضون للإشعاعات، وتبيِّن وجود توزيعات لوغاريثمية-طبيعية تقريبية. وهناك أدلة ذات صلة مستمدة من تقديرات الجرعات التي أصابت العاملين والتي تقدمها لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري [168] وكذلك من تحليلات الجرعات التي أصابت عامة الناس بسبب الحادث الذي وقع في محطة تشرنوبل للقوى النووية في عام ١٩٨٦ [169]. ولكن هناك عدد من القضايا التي عُرضت في تحليلات البيانات المقدمة باتباع توزيعات لوغاريثمية-طبيعية ويرد في الإطار ٤-٦ تلخيص لبعضها.

الإطار ٤-٥- التحليل الإحصائي للبيانات التي جرى تقييمها وقياسها

جرى تحليل إحصائي لبعض البيانات ذات الصلة المستخدمة في هذا التقرير - ولاسيما البيانات المتعلقة بالجرعات الشخصية وكذلك البيانات بشأن النشاط في الأغذية. وصُنِّفت قيم كمية المتغيرات (مثل قيم النشاط أو الجرعة) بحسب توزيع وتيرتها. ولتحقيق هذا الغرض، تم *تجميع* المجموعة الكاملة من البيانات، أي أنها وزِّعت معًا ضمن خانات أو سلسلة من النطاقات ذات قيم رقمية، وتم فرز البيانات داخلها من أجل تحليلها. وعُرضت البيانات في كل خانة مجاورة لبعضها البعض في رسم بياني تدرجي هو عبارة عن رسم بياني يتكوَّن من مستطيلات تمثل الخانات، وتمثل مواضعها قيم الكمية كما يمثل نطاقها عدد البيانات في كل خانة. وجرى بعدئذ توحيد الرسم البياني التدرجي بضرب قيم المستطيلات في معامل يجعل المساحة الإجمالية للمستطيلات تساوي ١. وعندما تتاح بيانات كافية وتصبح الفترات الفاصلة بينها صغيرة جدًا، يميل الرسم البياني التدرجي إلى منحنى سلس يُطلق عليه دالة الكثافة الاحتمالية التي تصف الاحتمال النسبي لكي تكون للكمية (مثل النشاط في الأغذية أو الجرعة التي يتلقاها الأشخاص) قيمة معينة.

ورغم أن معظم التوزيع الأكثر شيوعًا هو توزيع طبيعي (أو غاوسي) ويعبَّر عنه بدالة الكثافة الاحتمالية الجرسية الشكل المتناسقة من حيث الاحتمالية القصوى، فإنَّ التوزيع الأكثر صلة بالنسبة للتقرير هو التوزيع اللوغاريثمي-الطبيعي. والتوزيع اللوغاريثمي-الطبيعي هو توزيع احتمالي للكمية، مثل النشاط أو الجرعة، وتوزَّع لوغاريثميته توزيعا طبيعيا. لذلك فإن دالة الكثافة الاحتمالية اللوغاريثمية-الطبيعية هي دالة متناسقة من حيث الاحتمالية القصوى فقط عندما تُعرض كدالة للوغاريثم الكمية (مثل لوغاريثم النشاط أو لوغاريثم الجرعة) وليس كدالة للكمية. ويظهر في الجهة اليسرى من الشكل أدناه مثال عن هذا التوزيع الاحتمالي اللوغاريثمي-الطبيعي، الذي يبيِّن رسمًا بيانيًا تدرجيًا مثاليًا ودالته للكثافة الاحتمالية.



ويمكن إدماج دالة الكثافة الاحتمالية، أي أنه يمكن جمع قيم الخانات في الرسم البياني التدرجي الذي تم توحيده، من قيم الكمية الأسفل إلى قيمها الأعلى. وهذا الجمع باعتباره دالة الكمية هو جمع يُطلَق عليه دالة الاحتمالية التراكمية وهو يصف احتمال أن تكون لكمية توزيع احتمالي معين قيمة أقل من القيمة أو تساوي تلك القيمة.

ويمكن تخطيط *دالة الاحتمالية التراكمية اللوغاريثمية-الطبيعية* كخط مستقيم في مستوى منسق من الإحداثيات السينية التي تمثِّل الكمية (مثل الجرعة) المعايرة بطريقة لوغاريثمية مقابل الإحداثيات العمودية التي تمثل الاحتمالية التراكمية المعايرة على أنها دالة *طبيعية*. ويرد في الجهة اليمنى من الشكل أعلاه مثال عن هذا العرض حيث يتم تخطيط كامل البيانات التجريبية الفعلية للخانات في الشكل الوارد على اليسار أمام الخط المستقيم.

الإطار ٤-٦- قضايا مطروحة في التوزيع اللوغاريثمي-الطبيعي للبيانات

رغم أن دمج مجموعات البيانات ضمن خانات يؤدي دائما إلى توزيع سلس نسبيا لمستويات الخانات، لم يكن الأمر كذلك بالنسبة لبعض مجموعات البيانات من المعلومات المقدمة. وبالنسبة لهذه المجموعات من البيانات تظهر توزيعات الخانات مشوهة عادة بسبب تراكم حجم هائل من البيانات في خانة معينة. فعلى سبيل المثال، في بعض المجموعات من البيانات تم تجميع كل القيم القريبة من خط الكشف في خانة (أولية) واحدة دون تمييز بينها، في حين تم التمييز بين القيم الأعلى بشكل صحيح. وفي التحليلات الإحصائية، اتُخذ قرار بتوزيع هذه البيانات المجمَّعة بشكل مضلِّل بحسب توزيع الكثافة الاحتمالية المستمدة من البيانات الفعلية (باستخدام قيمها الإحصائية ذات الصلة، مثل الانحراف المتوسط والمعياري)، وتم على هذا الأساس إنشاء توزيع حدسي، بشكل عشوائي، يضم عددًا أكبر من الخانات. والنتيجة هي تقديم رسم بياني تدرجي مفاهيمي مصمم بحسب القيم الإحصائية للبيانات الفعلية ويمكن أن يناسبه أي منحنى سلس للكثافة الاحتمالية. وتُعرض دالة الكثافة الاحتمالية المذكورة، التي تصف كيف ينبغي أن يكون التوزيع في الحالة المثالية إذا ما صُمِّمت البيانات وتم التمييز بينها بصورة كافية، إلى جانب دالة الاحتمالية التراكمية في الأشكال الواردة في التقرير. ويُعرض التوزيع الفعلي للخانات في أحد الأشكال لغرض المقارنة.

وبينما قد لا يتم الالتزام بدقة بالتوزيع اللوغاريثمي الطبيعي في كامل نطاق البيانات، فعادة ما يمكن تقديم تعليلات مفصلة للانحرافات، لا سيما الانحرافات عن الخط المستقيم في الاحتمالية التراكمية، وهي تعليلات تشكل جزءا هامًا من التحليل. والسبب في الانحراف هو عدم التيقن الكامن في القياسات في حد ذاتها وفي الطبيعة الإحصائية لعملية أخذ العينات. وهناك مشكلة معينة في تحليلات الجرعات التي يتم تلقيها، وهي مشكلة تظهر عادة في الحالات العرضية، وهي الطبيعة غير المتجانسة المحتملة لأفواج الأشخاص المعرضين. وتشمل الأسباب الأخرى التوزيع المقيد في البيانات؛ فعلى سبيل المثال، يمكن أن يكون هناك، في نطاق الجرعات العالية، احتمالية تراكمية أعلى مما كان متوقعًا (أي أنَّ عدد الأشخاص المعرضين لجرعات عالية هو أقل مما كان متوقعا)، والتفسير الأكثر ترجيحًا هو أن قيود الجرعات قد طُبِّقت بنجاح. وإذا كانت أعلى مما كان متوقعا في نطاق الجرعات المنخفضة (أي أنَّ عدد الأشخاص المعرضين لجرعات منخفضة هو أكثر مما كان متوقعا)، فإنَّ التفسير المعقول هو أنه تم تخصيص جرعة تساوي حد الكشف (بشكل مضلِّل) بالنسبة لجميع الأشخاص المعرضين لجرعات أقل من هذه المستويات؛ وعلى العكس من ذلك، إذا كانت أقل مما هو متوقع، فإن ذلك قد يعني أنه تم تخصيص جرعة صفرية (وذلك بشكل مضلِّل مرة أخرى) بالنسبة لكل شخص تعرض لجرعات أقل من مستوى الكشف. وفي بعض الأحيان، تُصبح الانحرافات عن الخط المستقيم ظاهرية بسبب ارتفاع مستوى التضارب في البيانات المحلية؛ فعلى سبيل المثال، عندما تختلط فئتان مختلفتان من السكان، مثل إجلاء مجموعات وبقاء سكان في المنطقة، قد يكون ذلك دليل على وجود تغيير في درجة التوزيع الاحتمالي التراكمي ويجسِّد كل قطاع على حدة الجرعات التي تم تلقيها في كل منطقة على حدة. وقد كانت هناك في بعض الأحيان عمليات تجميع المعلومات امتدت لفترات طويلة وأدى ذلك إلى تحريف البيانات، وذلك بسبب الاضمحلال الإشعاعي على مر الزمن، على سبيل المثال. ويمكن استخدام الانحرافات عن الخط المستقيم في رسم الاحتمالية التراكمية اللوغاريثمية-الطبيعية لتقديم استنتاجات معقولة حول البيانات الأساسية.

٤-١- النشاط الإشعاعي في البيئة

أسفر الحادث عن انبعاث نويدات مشعة في البيئة. وأُجريت تقييمات للانبعاثات من طرف عدة منظمات باستخدام نماذج مختلفة. واتجهت معظم الانبعاثات الجوية شرقًا بواسطة الرياح السائدة فترسّبت وتشتت داخل المحيط الهادئ الشمالي. وكان من الصعب تسوية حالات عدم التيقن في تقديرات كمية وتكوين المواد المشعة لأسباب تضمَّنت عدم وجود بيانات مرصودة بشأن ترسب الانبعاثات الجوية في المحيط.

وكانت التغييرات في اتجاه الرياح تعني أَن كمية صغيرة نسبياً من الانبعاثات الجوية قد ترسَّبت في اليابسة أغلبها في اتجاه شمال-غرب محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية. وقد تم رصد وتصنيف وجود ونشاط النويدات المشعة المترسبة في البيئة الأرضية. ويتقلص النشاط المُقاس للنويدات المشعة مع مرور الوقت بسبب الاضمحلال الإشعاعي المادي وعمليات النقل البيئي وأنشطة التنظيف.

وبالإضافة إلى النويدات المشعة التي تتغلغل في المحيط جراء الترسبات الجوية، فقد كانت هناك انبعاثات وتصريفات من محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية صبَّت مباشرة في البحر في الموقع. ومن الصعب تقييم الحركة الدقيقة للنويدات المشعة في المحيط بواسطة القياسات وحدها، بل إن عددًا من نماذج النقل في المحيطات قد استُخدمت لتقدير تشتت النويدات المشعة في المحيطات.

وانبعثت نويدات مشعة مثل اليود-١٣١ والسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧ وُجدت في مياه الشرب والأغذية وفي بعض المواد غير الصالحة للأكل. ووضعت السلطات اليابانية، في إطار التصدي للحادث، قيودًا لمنع استهلاك هذه المنتجات.

٤-١-١- الانبعاثات

أُجري العديد من التقييمات لانبعاثات النويدات المشعة من الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية باستخدام نماذج وأساليب رياضية راسخة ورموز حاسوبية ذات صلة (انظر المراجع [177–170]).

وفي المرحلة المبكرة من الحادث، أدى الغازان الخاملان الكربتون-٨٥ والزينون-١٣٣ اللذان يبلغ عمرهما النصفي ١٠,٧٦ عامًا و٥,٢٥ يومًا على التوالي، إلى تعرض خارجي للإشعاعات جراء غيوم الانبعاثات الجوية. وأدى اليود-١٣١، الذي يبلغ عمره النصفي ٨,٠٢ يومًا، إلى التعرض لجرعات مكافئة تصيب الغدة الدرقية إذا تم استنشاقه أو ابتلاعه. وأدى السيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧ الأطول عمرًا واللذان يبلغ عمرهما النصفي ٢,٠٦ عامًا و٣٠,١٧ عاماً على التوالي إلى التعرض لجرعات مكافئة وكذلك جرعات فعالة من خلال التعرض الخارجي والداخلي. ورغم أنَّ اليود-١٣١ يضمحل بسرعة نسبيا، فقد يؤدي إلى تعرض الغدة الدرقية لجرعات مكافئة عالية نسبياً. وفي بعض المناطق، قد يظل السيزيوم-١٣٧ موجودًا في البيئة، وفي غياب أي استصلاح يمكن أن يظل سببا في تعرض الأفراد لجرعات فعالة.

وانبعثت نويدات مشعة بكميات متنوعة من السترُنشيوم والروثِنيوم وبعض الأكتينات (مثل البلوتونيوم). وكما هو وارد في القسم ٢-١، تم الكشف عن نيوترونات قرب البوابة الرئيسية للمحطة (الواقعة على بعد نحو ١ كم من الوحدات ١-٣)، وذلك بين الساعة ٠٥/٣٠ والساعة ١٠/٥٠ يوم ١٣ آذار/مارس. وتشير التقديرات إلى أنَّ النيوترونات انبعثت من الانشطار النووي العفوي الذي يمكن أن يكون قد انبعث نتيجة ضرر حصل في قلب المفاعل. وهذه ظاهرة يمكن التنبؤ بها وقد أُفيد بوجود هذه النويدات المشعة بمستويات منخفضة نسبيًا.

الانبعاثات في الغلاف الجوي

مثَّلت الغازات الخاملة جزءًا كبيرًا من الانبعاثات الأولى من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية؛ وتشير التقديرات إلى انبعاث حجم يتراوح بين ٠٠٠ ٦ و٠٠٠ ١٢ بيتابكريل من الزينون-١٣٣ (أو ما يتراوح بين ٥٠٠ و ٠٠٠ ١٥ بيتابكريل إذا أدرجت التقديرات الأولى في التقييم). وكان متوسط النشاط الإجمالي لليود-١٣١ يتراوح بين ١٠٠ و٤٠٠ بيتابكريل وللسيزيوم-١٣٧ بين ٧ و٢٠ بيتابكريل (أو ما يتراوح بين ٩٠ و٧٠٠ بيتابكريل، وبين ٧ و٥٠ بيتابكريل، إذا أدرجت التقديرات الأولى). وتشير التقديرات إلى أن الانبعاثات من الحادث تبلغ عُشر الانبعاثات من حادث عام ١٩٨٦ في محطة تشرنوبل للقوى النووية [169, 178, 179]. وكانت معظم الانبعاثات متناثرة في المحيط الهادئ الشمالي؛ ونتيجة لذلك لم يمكن بالإمكان إعادة تأكيد كمية المواد المنبعثة وتركيبها النظيري (’حد الإفلات‘) بواسطة القياسات البيئية لترسبات النويدات المشعة [177].

صبَّت معظم الانبعاثات الجوية المتناثرة في المحيط الهادئ الشمالي في الطبقة السطحية المحيطية. وكانت هناك انبعاثات وتصريفات مباشرة كذلك تصبُّ في البحر في الموقع، وكان المصدر الأول للمياه العالية الإشعاع هو خندق يوجد في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وقد لوحظت الانبعاثات المشعة في ذروتها في مطلع نيسان/أبريل ٢٠١١. وأشارت التقديرات إلى أنَّ الانبعاثات والتصريفات المباشرة من اليود-١٣١ في البحر تراوحت بين ١٠ و٢٠ بيتابكريل. وأشارت تقديرات معظم التحليلات إلى أنَّ الانبعاثات والتصريفات المباشرة من السيزيوم-١٣٧ تراوحت بين ١ و٦ بيتابكريل، ولكن بعض التقييمات أفادت بتقديرات تتراوح بين ٢,٣ و٢٦,٩ بيتابكريل [175].

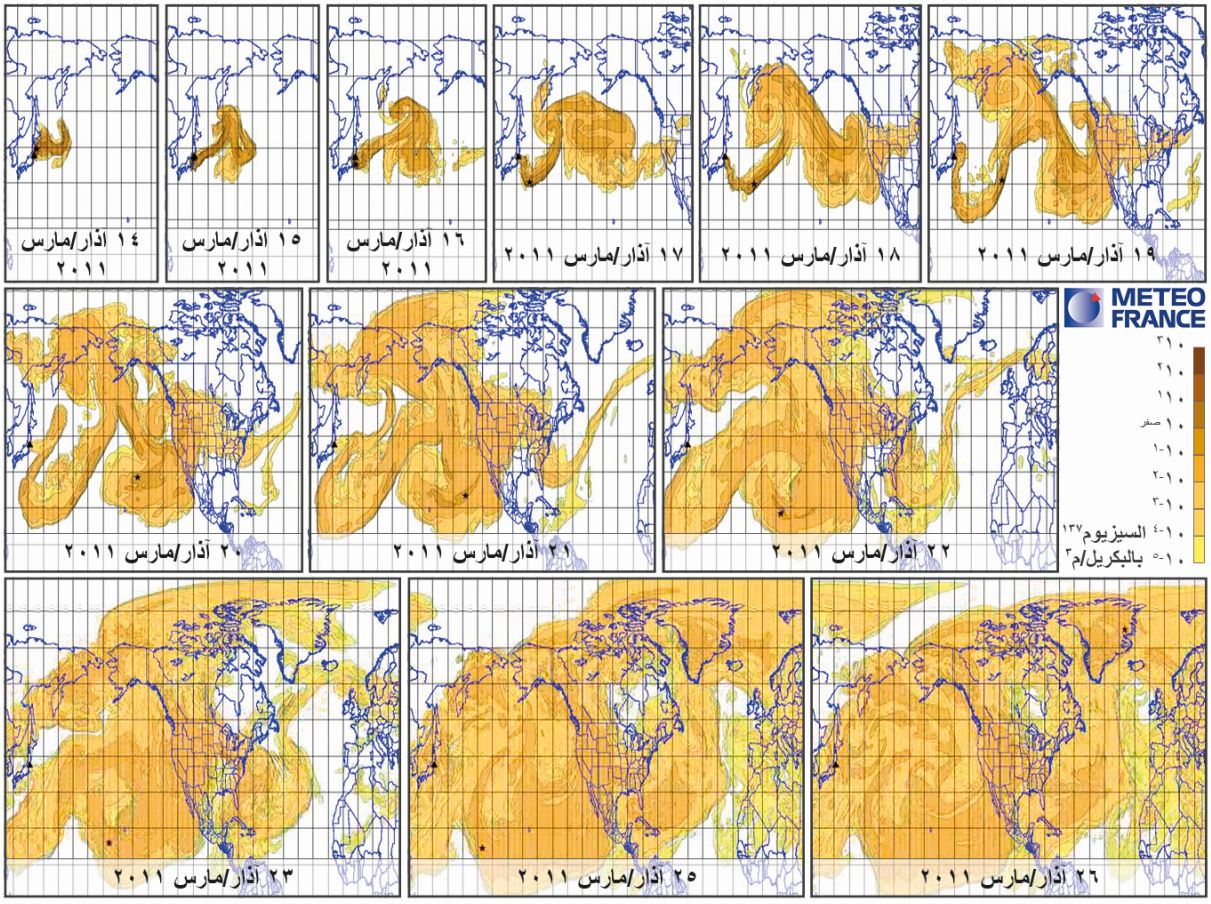
٤-١-٢- التشتت

استُخدِم العديد من النماذج النظرية لتقدير أنماط التشتت. وأُجريت قياسات مكثفة لتركز نشاط اليود-١٣١ والسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧ في البيئة، بما في ذلك في الجو والتربة ومياه البحر والرواسب والكائنات الحية، واستُخدمت كذلك لتقدير تشتت الانبعاثات.

التشتت الجوي

كان انتقال الانبعاثات المشعة الجوية يتوجه بالأساس نحو شرق اليابان وشماله، باتباع اتجاه الرياح السائدة، ثم يتوجه بعد ذلك نحو جميع أنحاء العالم. ويعرض الشكل ٤-١ مثالا عن العديد من نماذج الانتقال الجوي التي استُخدمت لتقدير الانتقال الجوي لمختلف النويدات المشعة وأنماط ترسبها، وهو ما يوضح نتائج نمذجة التشتت العالمي للسيزيوم-١٣٧ [180]. ويوضِّح الشكل تركيز النشاط في الهواء باستخدام الرمز الأصلي لألوان المرجع، حيث تمثل التغيرات الصغيرة في درجة الألوان تغيرًا في رتبة واحدة من الضخامة في نشاط التركيز. والغرض من العرض هو تأييد الاستنتاج بأن تركيز النشاط في الجو قد انخفض بشكل ملحوظ بالابتعاد عن محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية.

وكشفت الشبكات العالية الحساسية لرصد الإشعاعات مستويات منخفضة للغاية من النشاط الإشعاعي الذي يُعزى إلى الحادث في أماكن بعيدة تصل إلى أوروبا وأمريكا الشمالية. ولكن تأثيرات هذه الانبعاثات على مستوى النشاط الأساسي البيئي العالمي كانت تكاد لا تُذكر.



الشكل ٤-١ - نتائج أحد النماذج العالمية للتشتت الجوي للسيزيوم-١٣٧، وهي معروضة بألوان رموزها الأصلية (انظر المرجع [180] لمزيد من التفاصيل) (صورة مهداة من هيئة الأرصاد الجوية التابعة لفرنسا).

التشتت المحيطي للانبعاثات والتصريفات المباشرة في البحر في الموقع

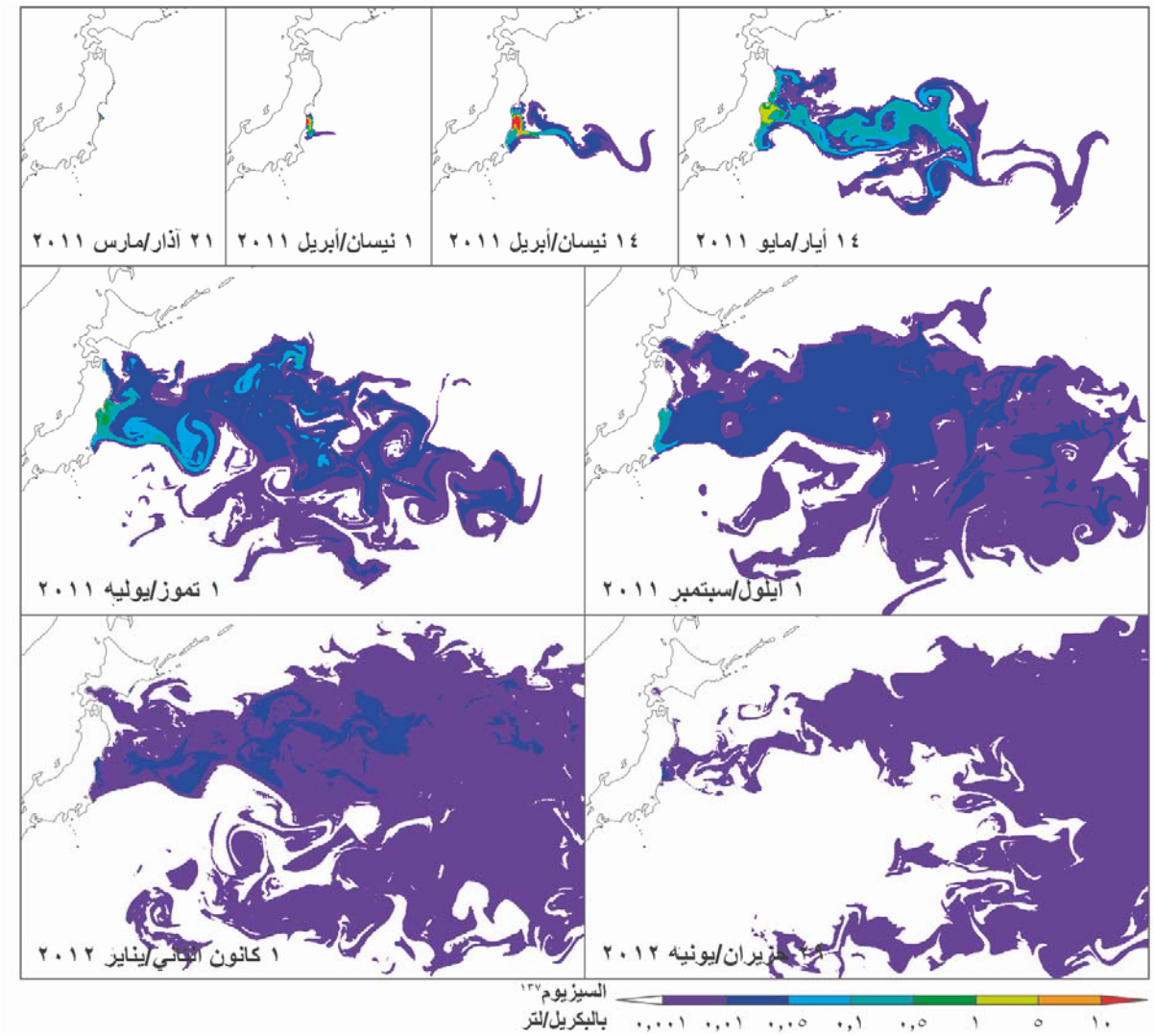
انتقلت معظم النويدات المشعة المنبعثة والمصروفة والتي صبَّت في البحر في الموقع باتجاه الشرق مع تيار كوروشيو[٩١]، وقطعت مسافات كبيرة عبر دوامة المحيط الهادئ الشمالي[٩٢] وأصبحت ممزوجة جدًا في مياه البحر [181]. وانتشر النشاط الإشعاعي عبر مسافات كبيرة من المحيط واكتُشفت كميات منخفضة جدًا منه بعيدًا جدًا عن الحادث، وكان ذلك أحيانًا عبر مسارات من خلال الكائنات الحية الموجودة في المحيط، مثل سمك التونة الأزرق الزعنفة [182].

[٩١] تيار كوروشيو هو تيار محيطي متدفق شمالا في الجهة الغربية من المحيط الهادئ الشمالي وهو يتدفق قرب محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية.

[٩٢] دوامة المحيط الهادئ الشمالي هي إحدى الدوامات المحيطية الرئيسية الخمس، وهي تغطي معظم المساحات من المحيط الهادئ الشمالي؛ ولها نمط دائري باتجاه حركة عقارب الساعة وتتكون من تيار المحيط الهادئ الشمالي باتجاه الشمال، وتيار كاليفورنيا باتجاه الشرق، والتيار الاستوائي الشمالي باتجاه الجنوب، وتيار كوروشيو باتجاه الغرب.

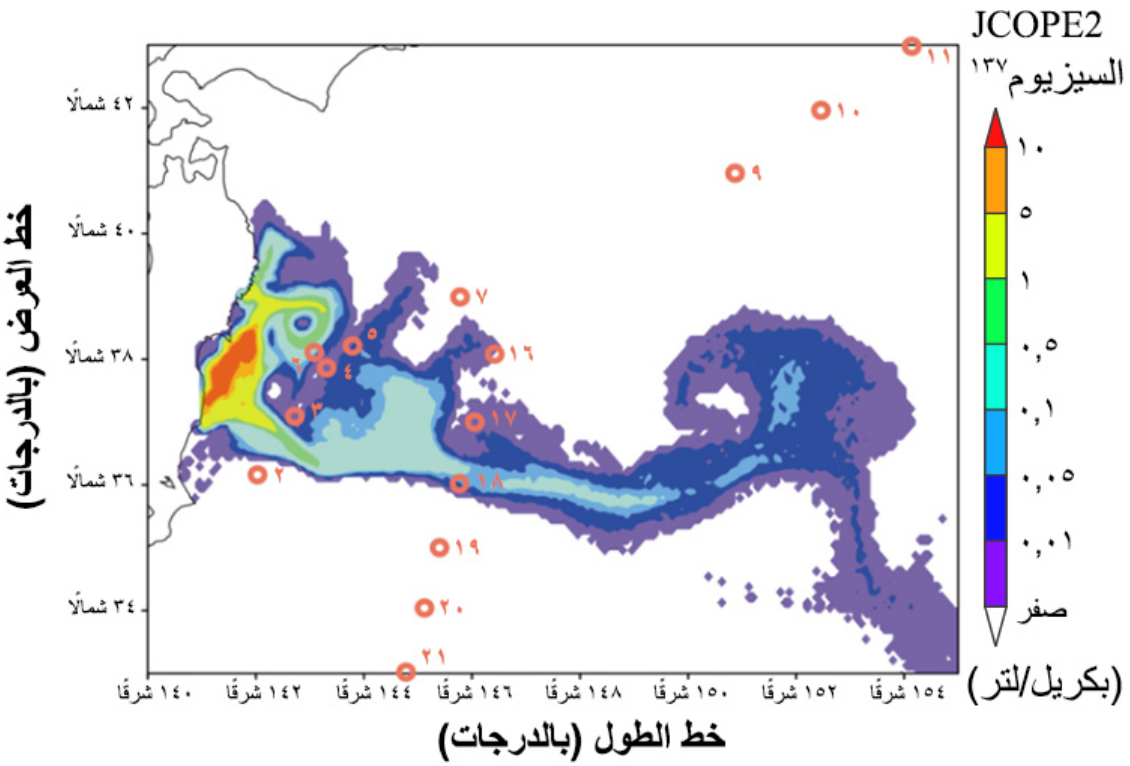
ورغم صعوبة تقييم الحركة الدقيقة للنويدات المشعة في المحيط بواسطة القياسات وحدها، فإنَّ عددًا من نماذج التنقل في المحيطات قد استُخدمت لتقدير أنماط تشتتها. ويُظهر الشكل ٤-٢ أمثلة عن هذه النماذج التي توضِّح تشتت السيزيوم-١٣٧ في المحيط الهادئ الشمالي. ويستخدم الشكل الرمز الأصلي للألوان المستخدمة في كل مرجع معيَّن على حدة. وكما هو الحال في التشتت الجوي، تمثل التغييرات الطفيفة في درجة أو حدة الألوان رتبة واحدة من الضخامة في تركيز النشاط. والغرض من العرض هو تأييد الاستنتاج بأنَّ النشاط في المحيط قد انخفض بشكل ملحوظ بالابتعاد عن محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وتبيِّن جميع النماذج أنَّ نشاط السيزيوم-١٣٧ في المحيط كان جد منخفض.

(أ)

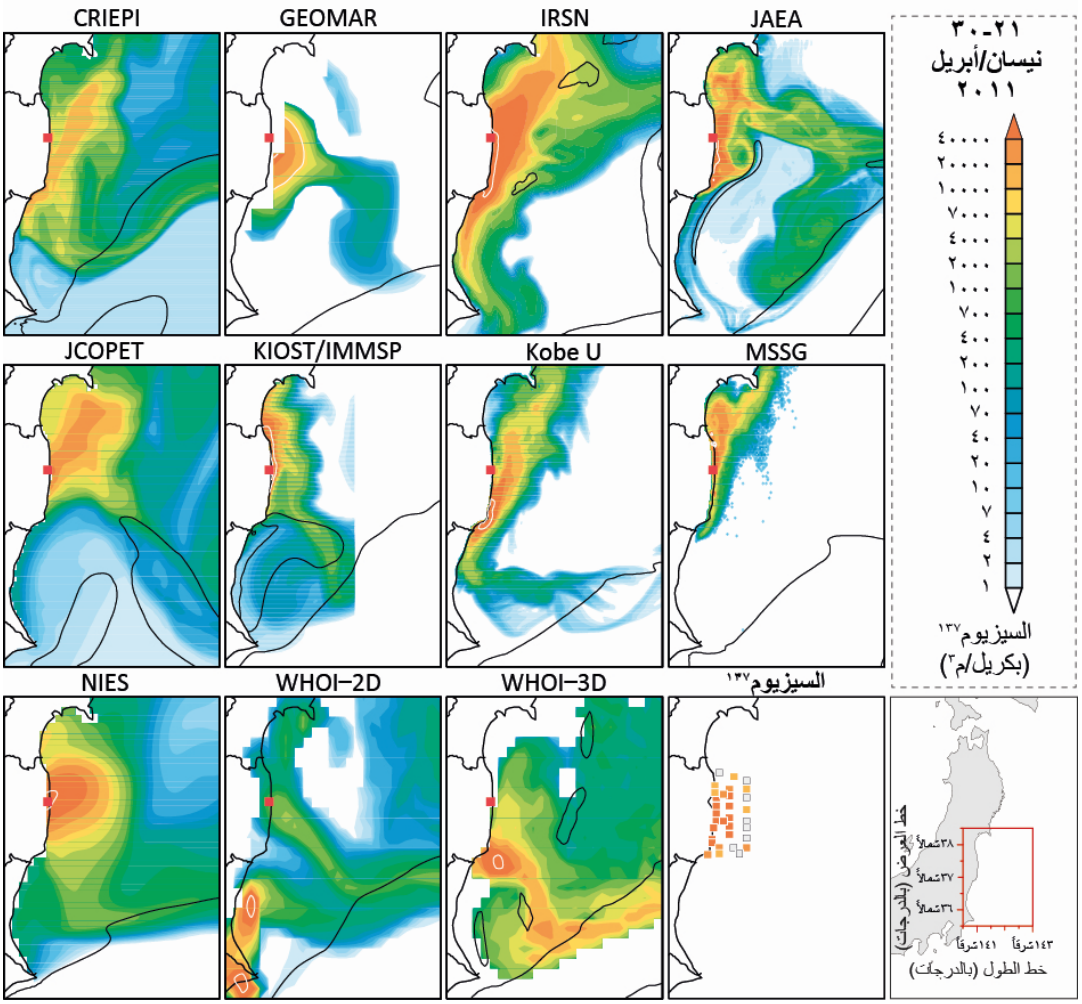


الشكل ٤-٢- استُخدمت نماذج محيطية متنوعة لتقدير تركيز نشاط السيزيوم-١٣٧ في مياه البحر (رموز الألوان والوحدات المستخدمة هي نفسها المستخدمة في المراجع). (أ) مثال عن نمذجة المياه الملوثة من ٢١ آذار/مارس ٢٠١١ إلى ٢٩ حزيران/يونيه ٢٠١٢ [183, 184]؛

(ب)



(ج)



الشكل ٤-٢- (تابع) (ب) التوزيع الأفقي الصوري للسيزيوم-١٣٧ في المياه السطحية في الفترة بين ١٤ و٢٦ نيسان/أبريل ٢٠١١ [185]؛ (ج) التوزيع الأفقي لتركيزات السيزيوم-١٣٧ حسب متوسط فترة تدوم عشرة أيام من ٢١ إلى ٣٠ نيسان/أبريل ٢٠١١، مع ذكر أسماء النماذج فوق كل لوحة [175].

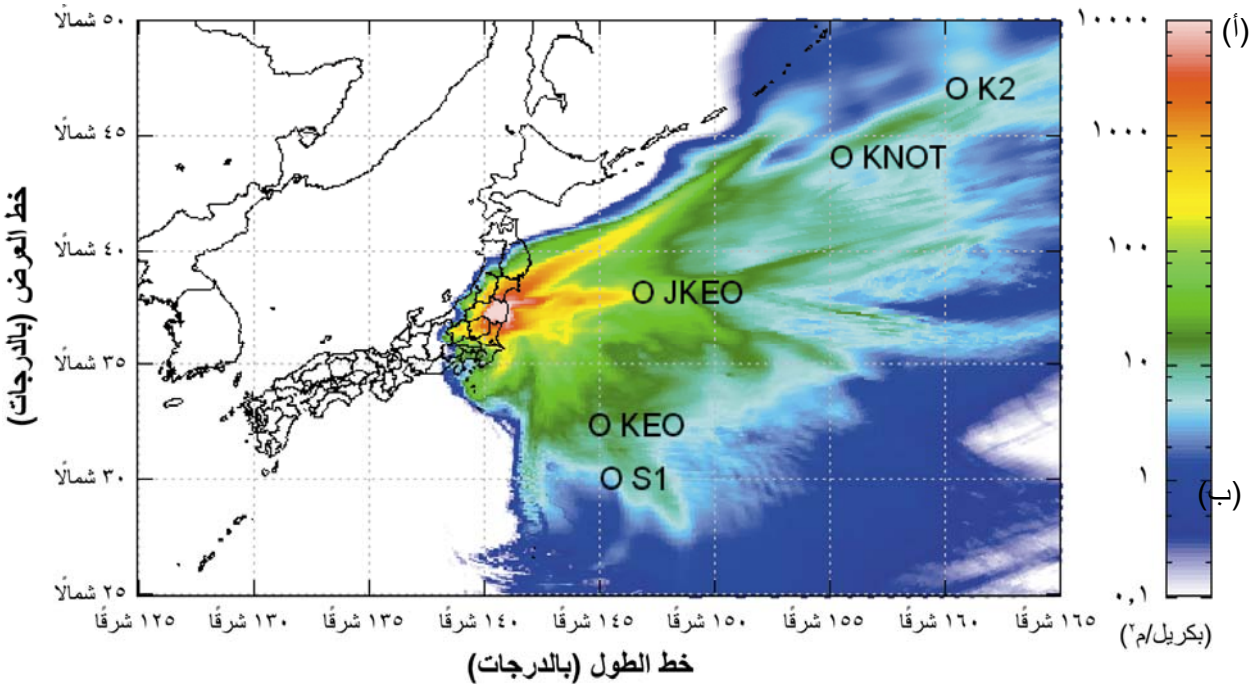
٤-١-٣- الترسب

تم تحديد كمية النشاط المترسب في سطح الأرض على أنه كثافة الترسب وتم قياسه من حيث النشاط لكل وحدة مساحة، ويعبَّر عن ذلك عادة بالوحدة بكريل/م^{٢}. وعندما يكون الترسب أرضيًا، يُشار إليه عادة على أنه 'التلوث' الأرضي.

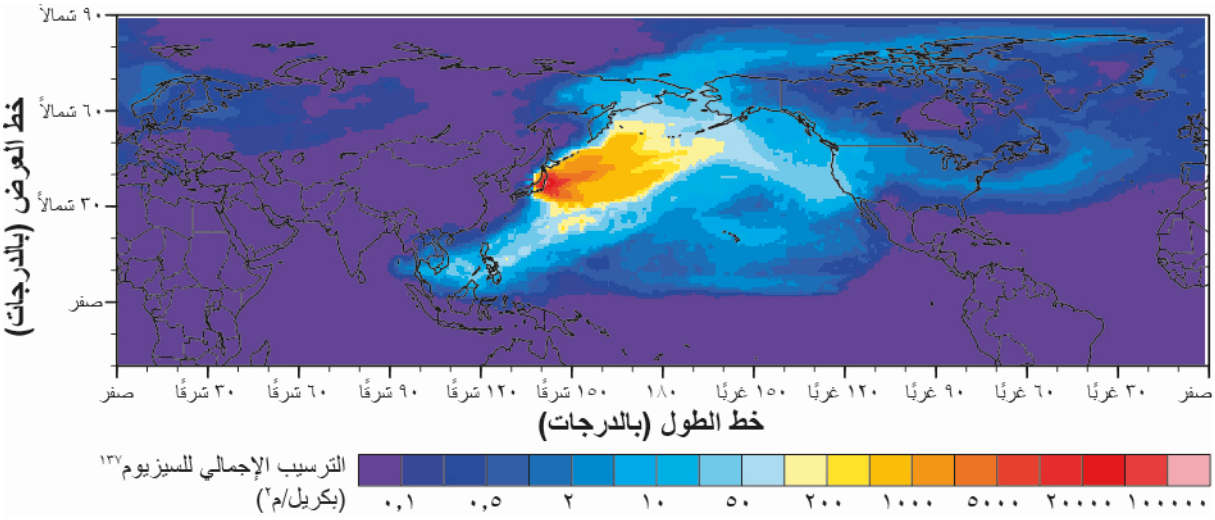
الترسب المحيطي

تمت دراسة ترسب السيزيوم-١٣٧ في المحيط باستخدام نماذج مختلفة (انظر الشكل ٤-٣).

ومن الصعب تقديم تقدير دقيق لكمية السيزيوم-١٣٧ المنبعثة في الجو والتي ترسَّبت على سطح المحيط [186]. وكإشارة مرجعية، فإنَّ ترسب السيزيوم-١٣٧ في العالم قبل الحادث منذ عام ١٩٧٠ يُقدَّر بنحو ٢٩٠±٣٠ بيتابكريل، وقد كان المستوى النموذجي من السيزيوم-١٣٧ في المحيط الهادئ الشمالي يُقدَّر بنحو ٦٩ بيتابكريل [187, 188].



الشكل ٤-٣- استُخدمت نماذج متنوعة لتقدير كثافة الترسب المحيطي من السيزيوم-١٣٧ (الوحدات المستخدمة هي بكريل/م^{٢}).
(أ) نمذجة المدخلات الهوائية التراكمية إلى غاية ١ نيسان/أبريل ٢٠١١ [185]؛



الشكل ٤-٣-(تابع) (ب) ومثال عن المجموع المتوسط من ترسب السيزيوم-١٣٧ (١١-٣١ آذار/مارس ٢٠١١) [175].

الترسب الأرضي

رغم تشتت معظم الانبعاثات الجوية شرقًا، فإن الانبعاثات التي انطلقت في ١٢ و١٤ و١٥ آذار/مارس قد اتجهت نحو اليابسة، وترسبت النويدات المشعة ذات الصلة، أي اليود-١٣١ والسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧ في الأرض. وتتفاوت أنماط الترسب إلى حد كبير، وهي تتأثر بشدة بالأمطار وتساقط الثلوج وسائر الظروف المحلية أو الإقليمية، مثل التضاريس واستغلال الأراضي. وهناك عامل آخر يؤثر في نمط الترسب في البيئة الأرضية وهو الخصائص المادية والكيميائية المختلفة لليود والسيزيوم.

وقد وُجِدت أكبر الكميات من الترسبات الطويلة العمر من السيزيوم-١٣٧ في شمال غرب محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، حيث قُدِّر مجموع الترسبات من السيزيوم-١٣٧ بنحو ٢-٣ بيتابكريل [188]. وتنخفض كثافة الترسب مع مرور الوقت من خلال الاضمحلال المادي والبيئي. ويمكن أن يتنقل السيزيوم بسهولة نسبيًا من خلال البيئة بسبب ذوبانية مركباته. ويمكن لآثار العوامل الجوية، مثل الرياح والمطر، والآثار البيئة الأخرى أن تقلل من وجود السيزيوم في البيئة. وتقلِّل جميع هذه الآثار من وجود السيزيوم-١٣٧ في وقت أقصر من عمره النصفي. وفي العديد من المناطق المتضررة، انخفض وجود السيزيوم-١٣٧ أكثر بفضل جهود التنظيف وغيرها من جهود الاستصلاح.

ويعرض الشكل ٤-٤ خرائط مفصَّلة لمكافئ الجرعة المحيطة التي تقاس هوائيًا باتجاه شمال غرب موقع الحادث، ويعرض اختلافاته مع مرور الوقت (انظر أيضًا الشكل ٤-٢ (ج)).

يمكن أن يؤدي وجود السيزيوم-١٣٧ الناجم عن الحادث في البيئة الأرضية إلى تعرض الأفراد للإشعاعات لفترات طويلة، بالإضافة إلى حالات التعرض للإشعاعات التي يلتقونها عادة من مستويات الإشعاعات الأساسية الطبيعية. وهناك مستوى عالمي أساسي من كثافة ترسب السيزيوم-١٣٧ ويُعزى ذلك بالأساس إلى الغبار النووي الناتج عن التجارب النووية السابقة. وأشارت تقديرات لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري إلى أن المستويات العالمية الأساسية كانت عالية وبلغت ٤٠٠٠ بكريل/م^{٢}، خلال منتصف ستينات القرن الماضي، عند خط العرض ٤٠-٥٠ درجة في نصف الكرة الأرضية الشمالي؛ وأشارت التقديرات إلى أن أكثر القيم العالمية انخفاضا آنذاك كانت بضع مئات بكريل/م^{٢} عند خط العرض ٦٠-٧٠ درجة في نصف الكرة الأرضية الجنوبي [190]. وأجرى عدد من الدراسات تحليلات لتأثير الظروف المحلية وخلصت هذه الدراسات إلى أن الترسب الأساسي المتراكم قد يكون يناهز ١٠ ٠٠٠ بكريل/م^{٢} أو قد يتجاوز هذا الرقم (انظر على سبيل المثال المرجع [187]). وقد اضمحلت مستويات الترسب العالمي منذ ستينات القرن الماضي. وفيما يتعلق بعام ٢٠٠٠، أشارت تقديرات لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري إلى أنَّ أعلى قيمة سُجلت كانت تبلغ نحو ٢٠٠٠ بكريل/م^{٢} [190].

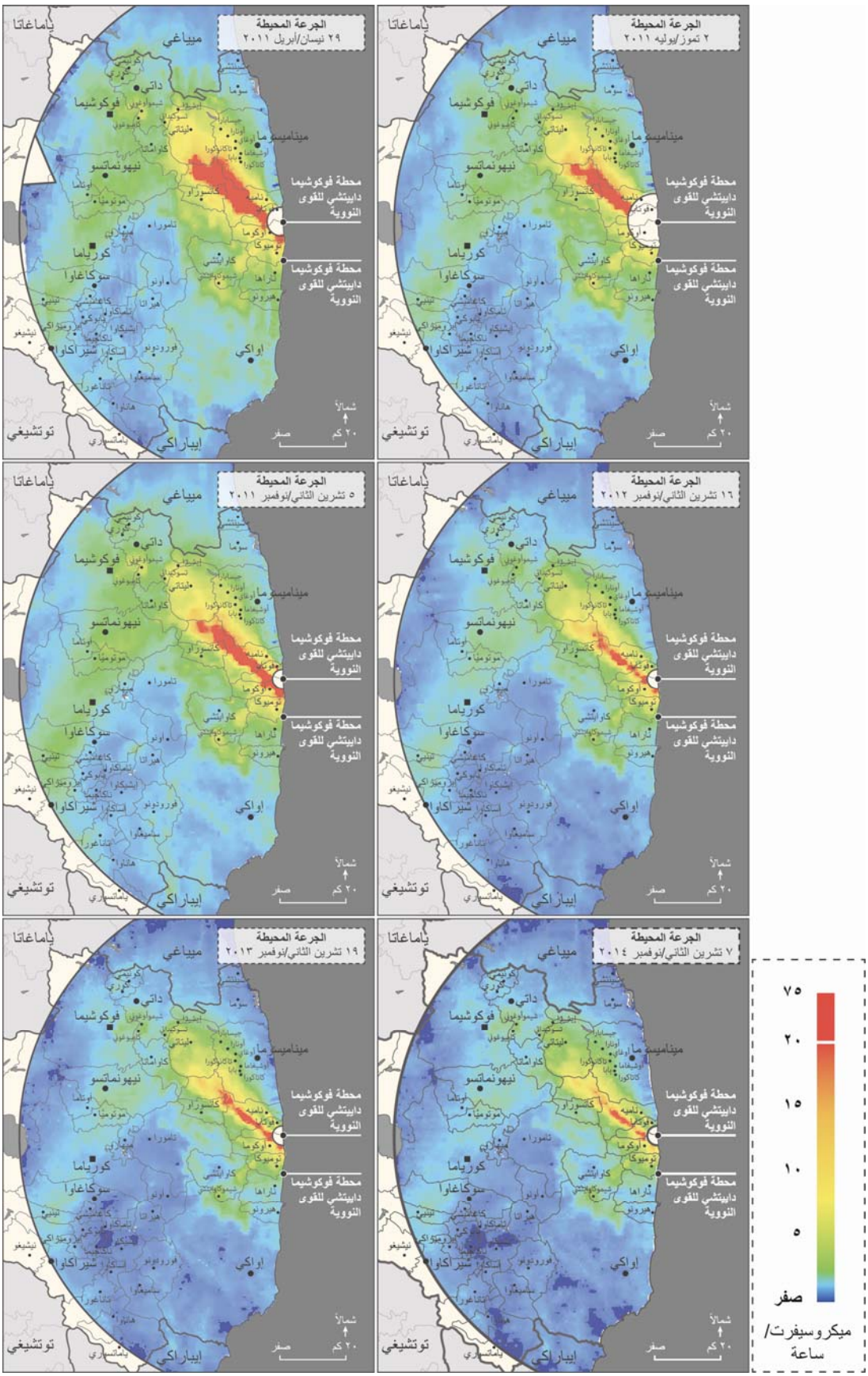
وأُجريت قياسات لمستويات أعلى بكثير من كثافة ترسب السيزيوم-١٣٧ في مناطق شمال غرب محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. ووصلت المستويات التي عُرضت بحسب رتبة حجمها في معظم المناطق المتضررة إلى ١٠ ٠٠٠ ٠٠٠ بكريل/م^{٢} وبلغت المستويات في مناطق كثيرة نحو ١ ٠٠٠ ٠٠٠ بكريل/م^{٢}. ولم يكن توزيع الترسبات بالنسبة لكامل المنطقة المتضررة في محافظة فوكوشيما متجانساً. وبلغت المستويات الواقعة مباشرة خارج أكثر المناطق تضررًا في محافظة فوكوشيما نحو ١٠ ٠٠٠ بكريل/م^{٢}. ورغم أن بعض المناطق الأخرى في اليابان سجَّلت مستويات ترسب مرتفعة، فإن المستويات التي تُعزى إلى الحادث في معظم المناطق في اليابان كانت على العموم أقل من نحو ١٠٠٠ بكريل/م^{٢} [191, 192].

وزادت أعلى مستويات ترسب اليود-١٣١ على ٣ ٠٠٠ ٠٠٠ بكريل/م^{٢} مباشرة بعد وقوع الحادث، وذلك بسبب قصر العمر النصفي لليود-١٣١، وانخفضت المستويات بسرعة ولم تعد قابلة للقياس.

٤-١-٤- المنتجات الاستهلاكية

في المناطق المتضررة، تم العثور على نويدات مشعة مثل اليود-١٣١ والسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧ في بعض المنتجات الاستهلاكية والمواد الأخرى التي يستخدمها الأفراد والأسر يوميًا، مثل الأغذية ومياه الشرب وبعض المنتجات غير الصالحة للأكل.

وقد فرضت السلطات اليابانية قيودًا بعد وقوع الحادث، في ٢١ آذار/مارس، من أجل منع استهلاك مياه الشرب والأغذية المحتوية على نويدات مشعة بمستويات أعلى من القيم الرقابية المؤقتة (انظر القسم ٣).

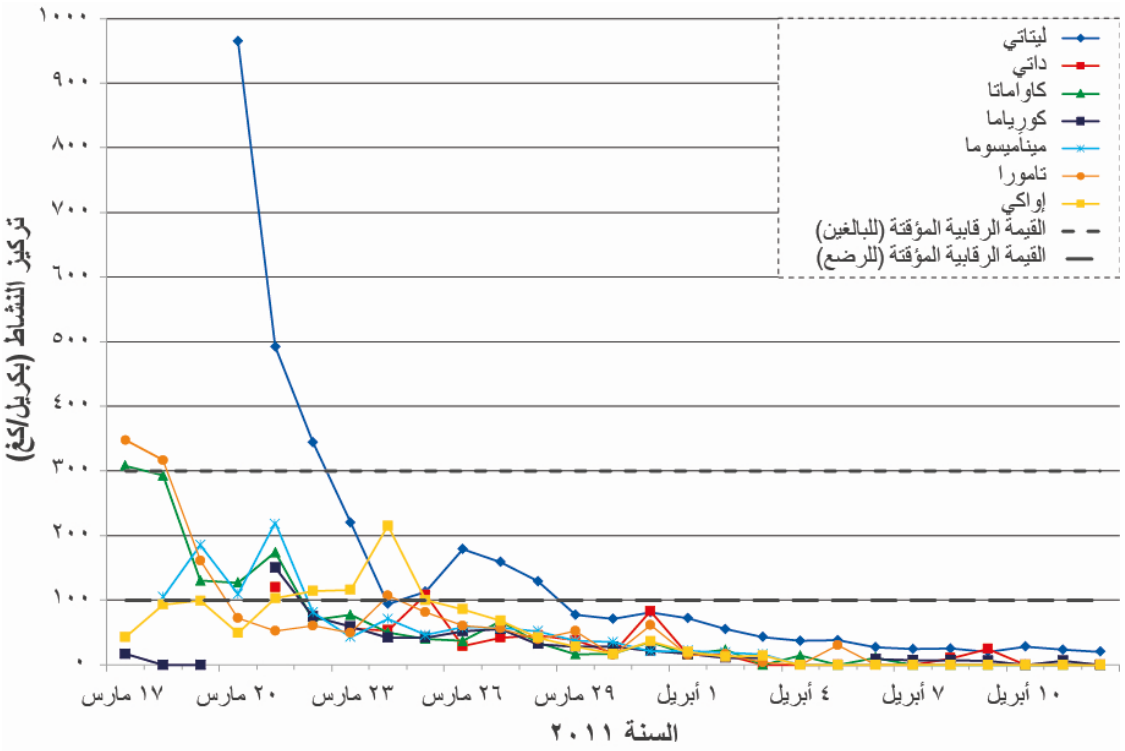


الشكل ٤-٤- معدل مكافئ الجرعة المحيطة التي تقاس هوائيا (بالميكروسيفرت/ساعة) الناتج عن ترسبات ناجمة عن انبعاثات تنتشر في مناطق شمال غرب المحطة [189].

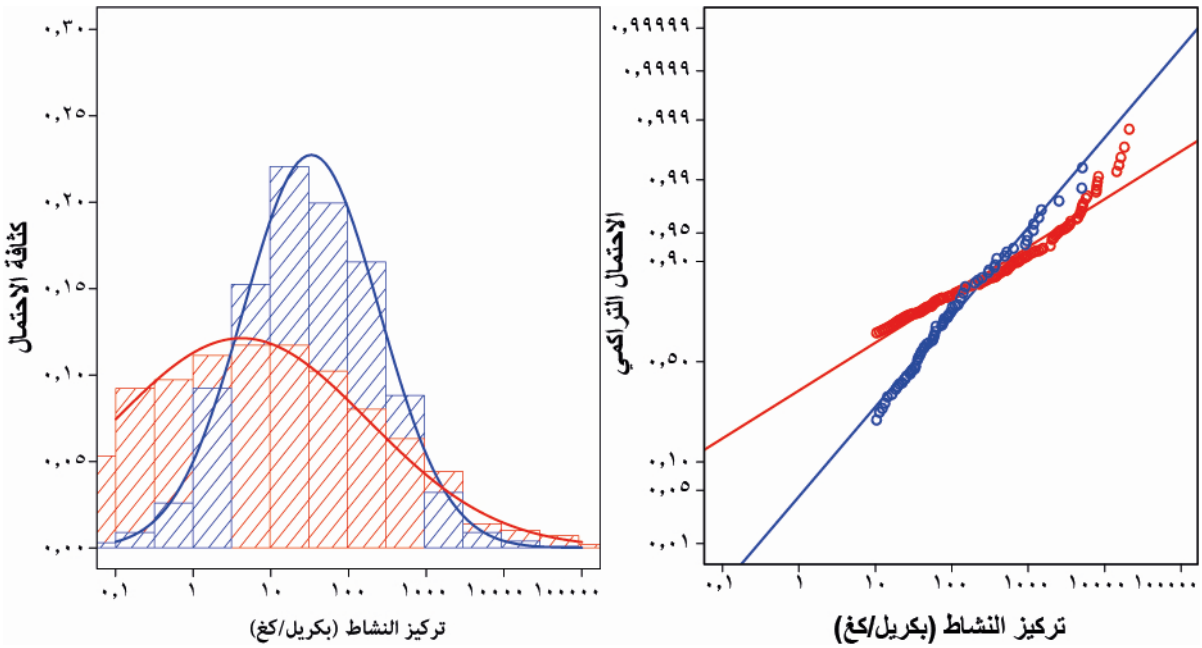
وتستهدف القيم الإرشادية التي وضعتها منظمة الصحة العالمية فيما يتعلق بالمستويات المسموح بها من النويدات المشعة في مياه الشرب الظروف العادية (انظر الإطار ٤-١). وبعد نيسان/أبريل ٢٠١٢، كانت جميع مياه الشرب في اليابان أقل من القيم الإرشادية التي وضعتها منظمة الصحة العالمية [193].

ومع وجود استثناءات نادرة، لم تتجاوز مستويات النويدات المشعة الموجودة في الأغذية المتاحة في السوق المستويات المحددة في الدستور الغذائي، وهي مستويات تُطبَّق على التجارة الدولية (انظر الإطار ٤-١). وكانت هناك حالات تم فيها العثور في الأغذية غير المزروعة على مستويات أعلى من النويدات المشعة، مثلاً في لحم الخنزير البري والفطر البري والنباتات البرية، بما في ذلك أنواع الخنشار [194]. وتناول أغذية غير مزروعة مسألة غير مألوفة في اليابان. ويأكل عدد محدود من السكان النباتات البرية في الغالب خلال فترة زمنية قصيرة في الربيع. ونادرًا ما تكون هناك مبيعات مباشرة لأنواع الفطر البري والنباتات البرية من طرف المزارعين. وتُتاح أنواع الفطر المزروع في السوق إذا كانت مستويات تركيز النشاط أقل من القيم الرقابية.

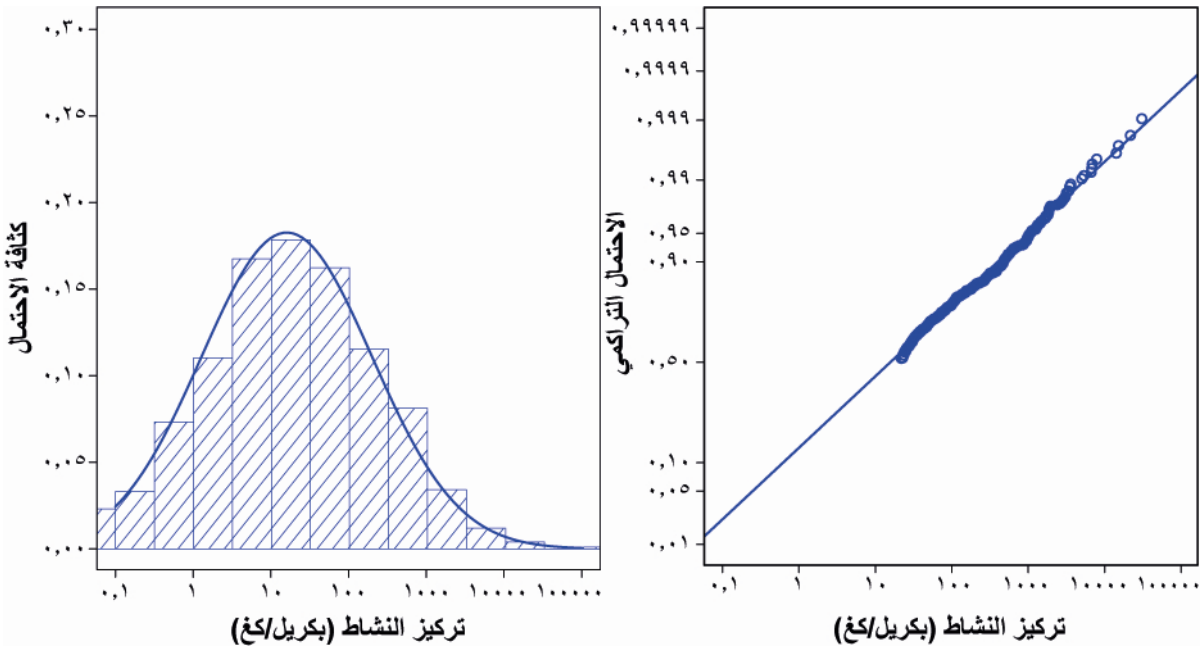
ويعرض الشكل ٤-٥ بعض الأمثلة عن تركيز النشاط في مياه الشرب وعن نشاط معين في الأغذية. ويُعرض تركيز النشاط مع مرور الوقت بالنسبة لليود-١٣١ الذي تم قياسه في إمدادات مياه الشرب، وذلك بالنسبة لمواقع مختلفة في محافظة فوكوشيما مقارنة بالمستويات الواردة في اللوائح الرقابية المؤقتة التي أصدرتها السلطات اليابانية [195]. وجرى تقييم توزيع كثافة الاحتمالية اللوغاريثمية-الطبيعية وتوزيع الاحتمالية التراكمية بالنسبة للنشاط المعين لليود-١٣١ في الألبان خلال الشهر الأول بعد وقوع الحادث وفي الخضروات الورقية في الأشهر الثلاثة الأولى بعد وقوع الحادث. وبالنسبة للنشاط المعين للسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧ في أنواع الفطر (بما في ذلك الفطر المزروع بالأساس في الهواء الطلق)، فقد جرى تقييمه خلال الأشهر الـ١٢ بعد وقوع الحادث. وهذه التقييمات، التي تعتمد على التحليل الإحصائي للبيانات التي جمعتها منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) [151]، تظهر وجود احتمال بنسبة تقارب ٩٠٪ من أن القيم كانت أقل من مستوى الدستور الغذائي البالغ ١٠٠٠ بكريل/كغ (كان المستوى الذي حددته السلطات اليابانية أصلًا هو ٥٠٠ بكريل/كغ ثم خُفِّض ليبلغ ١٠٠ بكريل/كغ [193]). وقد خلق هذا النهج المتحفظ صعوبات أمام المنتجين والمستهلكين.



(أ)



(ب)



(ج)

الشكل ٤-٥- بعض الأمثلة عن النشاط الإشعاعي في مياه الشرب والأغذية. (أ) تركيز النشاط مع مرور الوقت في اليود-١٣١ الذي تم قياسه في إمدادات مياه الشرب في مواقع مختلفة من محافظة فوكوشيما [195]. (ب) التوزيع الاحتمالي اللوغاريثمي-الطبيعي لتركيز النشاط في اليود-١٣١ في الألبان في الشهر الأول بعد وقوع الحادث وفي الخضراوات الورقية في الأشهر الثلاثة الأولى بعد وقوع الحادث. (ج) التوزيع الاحتمالي اللوغاريثمي-الطبيعي لتركيز النشاط في السيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧ في أنواع الفطر خلال الأشهر الـ١٢ بعد وقوع الحادث [151]. (يعرض الشكلان (ب) و(ج) التوزيع المثالي الموحد للكثافة الاحتمالية (انظر الإطار ٤-٦) والتوزيع الاحتمالي التراكمي؛ واستُخدم حد كشف إسمي يبلغ ١٠ بكريل/كغ في تركيز النشاط في الأغذية.)

٤-٢- وقاية الناس من التعرض للإشعاعات

بعد وقوع الحادث، طبقت السلطات اليابانية المستويات المرجعية المتحفظة للجرعات، المدرجة في التوصيات التي أصدرتها مؤخرًا اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات.[٩٣] واتضح أن تطبيق بعض التدابير والإجراءات الوقائية صعب على السلطات المنفِّذة وصعب جدًا على المتضررين.

وكانت هناك بعد وقوع الحادث بعض الاختلافات بين المعايير والإرشادات الوطنية والدولية بشأن المراقبة الطويلة الأجل لمياه الشرب والأغذية والمنتجات الاستهلاكية غير المأكولة، عقب انقضاء مرحلة الطوارئ.

وقد تعرض الناس للإشعاعات المعزوة إلى وقوع الحادث من خلال عدد من السبل المختلفة، المعروفة باسم مسارات التعرض. وتناقش هذه المسارات في الإطار ٤-٧. وقد قُدرت الجرعات الإشعاعية التي أصابت الناس عن طريق النمذجة و/أو القياسات البيئية والشخصية عبر مسارات التعرض المختلفة. واستُخدمت هذه التقديرات والقياسات بعد ذلك للحد من التعرض وضمان وقاية الناس.

٤-٢-١- الحد من تعرض الجمهور

كانت صيغة معايير الأمان الأساسية التي كانت منطبقة في وقت وقوع الحادث قد صدرت في عام ١٩٩٦، [137] وكانت مستندة إلى التوصيات الصادرة في عام ١٩٩٠ من اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات [196]. وكانت تشتمل على متطلبات بشأن *المستويات الموجبة للتدخل* في حالة وقوع حوادث، وكانت هذه المتطلبات تضع في الاعتبار الجرعات المتوقعة المنتظرة والتخفيضات المحتملة *للجرعات التي يمكن تلافيها*. في وقت وقوع الحادث، كان يجري تنقيح معايير الأمان الأساسية لعام ١٩٩٦ لمراعاة التوصيات التي صدرت من اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات في عام ٢٠٠٧ [129] (انظر الإطار ٤-٨). وكانت هذه التوصيات تتضمن نهجًا مختلفًا للتعامل مع الطوارئ، لا سيما إعادة النظر في مفهوم *المستوى الموجب للتدخل*، الذي كان قد صُمم كمعيار للإجراءات الوقائية الشخصية، واستحداث مفهوم *المستويات المرجعية* التي كان المقصود استخدامها للبت في استراتيجيات الوقاية (على أساس أنه سيتم إدراج معايير عامة في معايير الأمان للتعامل مع الإجراءات الوقائية الشخصية).

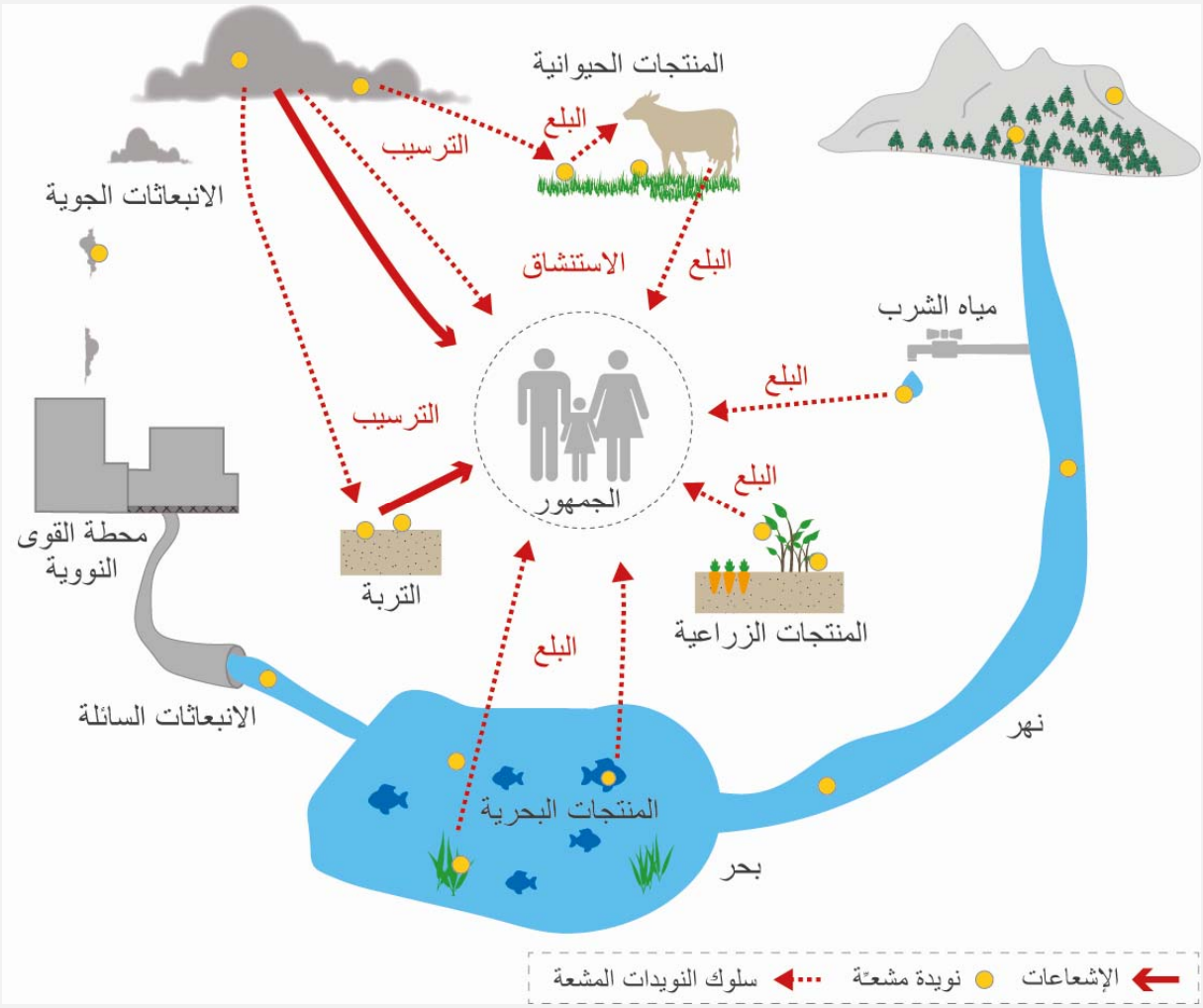
ووفرت توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات لعام ٢٠٠٧ إطارًا للمستويات المرجعية، مع أمثلة لجميع حالات التعرض بما فيها حالات الطوارئ. وكمثال لأعلى جرعة متبقية مخطط لها تنتج من طارئ إشعاعي، تضمنت التوصيات توصية بمستويات مرجعية للتعرض الحاد أو السنوي يمكن أن تكون أكبر من ٢٠ ملّي سيفرت ولكن ليس أكبر من ١٠٠ ملّي سيفرت. وأوصت أيضًا بالنظر في تقليل الجرعات، وببذل جهود لتقليل الجرعات عندما تقترب من ١٠٠ ملّي سيفرت، وأن يحصل الأفراد على معلومات عن مخاطر الإشعاعات وعن التدابير الرامية إلى تقليل الجرعات، وإجراء تقييم للجرعات الشخصية. واختارت الهيئة الرقابية اليابانية، وهي 'وكالة الأمان النووي والصناعي'، تطبيق المستوى المرجعي الأدنى البالغ ٢٠ ملّي سيفرت/سنة كمستوى مرجعي لوقاية الجمهور.

---

[٩٣] تصدر التوصيات الدولية بشأن الوقاية من الإشعاعات من اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات. وتؤخذ هذه التوصيات بعين الاعتبار لدى وضع معايير الأمان الدولية، بما فيها معايير الوقاية من الإشعاعات (معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤيِّنة ولأمان المصادر الإشعاعية (معايير الأمان الأساسية))، التي وضعتها وأقرتها عدة منظمات دولية وصدرت تحت رعاية الوكالة. وتُستخدم معايير الأمان الأساسية في جميع أنحاء العالم في وضع لوائح وطنية لوقاية الناس والبيئة من الآثار الضارة المحتملة للتعرض للإشعاع المؤين. ووفرت التوصيات التي أصدرتها اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات في عام ٢٠٠٧ إطارًا منقحًا للوقاية من الإشعاعات. وشملت هذه التوصيات استحداث مستويات مرجعية لاستراتيجيات الوقاية. وفي وقت وقوع الحادث، كان يجري تنقيح معايير الأمان الأساسية وذلك، في جملة أمور، لمراعاة هذه التوصيات.

الإطار ٤-٧- مسارات التعرض

مسارات التعرض هي مسالك، أي سلاسل من التغيرات أو الأحداث، تشكل التتابع الذي تتحرك به المواد المشعة عبر البيئة، وتجعل الناس في نهاية المطاف عرضة للإصابة بجرعات إشعاعية. وتتميز هذه المسارات بالعديد من الجوانب، بما في ذلك العملية التي تصل بها المواد إلى البيئة، والوسائط التي تنتقل فيها المواد من المصدر، ونقطة التعرض التي يتأثر فيها الناس بالإشعاعات، وسبل التعرض التي تحدد كيف يتعرض الناس للإشعاعات الخارجية وكيف يمكن أن تدخل المواد المشعة في الجسم (وذلك مثلاً عن طريق الأكل والشرب أو عبر الجلد)، والسكان الذين يحتمل أن يتعرضوا لهذه المواد. ويقدم الشكل أدناه وصفًا مبسطًا لمسارات التعرض الناتجة من الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية.



وقاية الأطفال

كانت وقاية الأطفال مصدر قلق خاص للآباء والأمهات في المناطق المتضررة من الحادث. ولأغراض الوقاية، تستخدم التوصيات الحالية الصادرة عن اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات، فيما يتعلق بمجموع السكان، بما يشمل الأطفال، معامل مخاطرة، معدلاً حسب الضرر الإشعاعي، أعلى (بنحو ٣٠٪) من معدل المخاطرة الخاص بالسكان البالغين. وينعكس هذا الاختلاف في التوصيات والمعايير الدولية للوقاية من الاشعاعات.

تأثير تدابير الوقاية من الإشعاعات والإجراءات المتخذة لوقاية الجمهور

البنية الأساسية المناسبة الخاصة بالمرافق العامة ضرورية لدعم التدابير الرامية إلى الحد من تعرض الجمهور في أعقاب وقوع طارئ نووي أو إشعاعي [199]. وقد تعيّن التعامل مع عواقب الزلزال والتسونامي والحادث في حالة كانت فيها البنية الأساسية المحلية قد انهارت. فبسبب الزلزال والتسونامي، تدمَّر أو تضرَّر العديد من

المرافق العامة والمنازل والأعمال التجارية، وحدث إخلال شديد بإمكانية الحصول على خدمات الهاتف والإنترنت، وإمدادات الكهرباء والغاز ومياه للشرب، والنقل العام، وتوزيع الأغذية والبنزين وزيت التدفئة. وكانت درجة الحرارة الخارجية منخفضة، والجو ممطرًا والثلج يتساقط، والتدفئة غير كافية. وكان معني ذلك أنه لم يكن بوسع العديد من المقيمين البقاء في الملاجئ لفترات طويلة من دون ملابس دافئة ومعاطف.

وأثرت هذه الظروف الصعبة على تنفيذ التدابير الوقائية اللازمة لوقاية الناس من التعرض للإشعاعات. فمثلا لم يتسنّ استخدام الغسل لتطهير الذين لاذوا بالملاجئ، لأن الماء كان يصرف بالحصص في معظم الملاجئ، وكان مخصصًا للشرب.

الإطار ٤-٨- تنقيح معايير الأمان الأساسية التي كانت سارية المفعول في وقت وقوع الحادث: المستويات المرجعية

كانت معايير الأمان الدولية للوقاية من الإشعاعات، السارية المفعول في وقت وقوع الحادث، هي معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة ولأمان المصادر الإشعاعية لعام ١٩٩٦، أو معايير الأمان الأساسية لعام ١٩٩٦ [137] وكانت هذه المعايير تقضي بأن تكون الجرعة الفعالة الإضافية التي يمكن أن يتلقاها الأفراد من الممارسات المخطط لها والخاضعة للمراقبة محددة بحد أقصى قدره ١ ملّي سيفرت في السنة (وفي ظروف خاصة، يمكن تطبيق جرعة فعالة تصل إلى ٥ ملّي سيفرت، شريطة أن لا يتجاوز متوسط الجرعة الفعالة على مدى خمس سنوات متتالية ١ ملّي سيفرت في السنة). وشددت معايير الأمان الأساسية لعام ١٩٩٦ على أن حدود الجرعات هذه لا تنطبق على القرارات المتعلقة بما إن كان ينبغي القيام بتدخل ما، وكيف ينبغي القيام به، في حالة وقوع حوادث، عندما يتعين إيلاء الاعتبار للجرعات المتوقعة والتخفيضات المحتملة للجرعات التي يمكن تلافيها والجرعات المتبقية في نهاية المطاف. ووفرت متطلبات معايير الأمان الأساسية لعام ١٩٩٦ المتعلقة تحديدًا بالطوارئ مستويات عامة موجبة للتدخل يُتوقع أن يتم فيها التدخل في أي حالة طارئة، مثل الإيواء والإجلاء وحجب الغدة الدرقية، ومستويات عامة موجبة للتصرف بشأن الأغذية.

وإضافة إلى ذلك، كانت الوكالة قد أصدرت في عام ٢٠٠٢ معايير أمان تحتوي على متطلبات محددة بشأن التأهب والتصدي للطوارئ النووية أو الإشعاعية [69]، تتضمن معايير جرعات لتنفيذ الإجراءات الوقائية، مثل الإيواء والإجلاء وحجب الغدة الدرقية بتعاطي اليود. وأنشأت هذه المعايير متطلبات بشأن المستوى المناسب من التأهب والتصدي للطوارئ النووية أو الإشعاعية بهدف التقليل من عواقب أي حالة طوارئ إذا وقعت (انظر القسم ٣ للاطلاع على المزيد من المعلومات).

وفي وقت وقوع الحادث، كانت معايير الأمان الأساسية لعام ١٩٩٦ قيد الاستعراض وذلك، في جانب منه، في ضوء التوصيات العامة الجديدة التي صدرت من اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات في عام ٢٠٠٧ [129]. وكانت اللجنة المذكورة قد أصدرت، قبل وقوع الحادث مباشرة، توصيات محددة بشأن تطبيق توصياتها الجديدة لوقاية الناس في حالات التعرض للطوارئ [127] ووقاية من يعيشون في مناطق ملوثة تلوثا طويل الأمد بعد وقوع حادث نووي أو طارئ إشعاعي [197].

وتضمنت توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات لعام ٢٠٠٧ تنقيحًا لنهج التعامل مع حالات التعرض الطارئة، بما في ذلك مفهوم المستوى المرجعي الذي ينبغي استخدامه في استراتيجيات الوقاية. وكان المستوى المرجعي الذي أوصت به هو جرعة فعالة (حادة أو سنوية) يمكن أن تكون أكبر من ٢٠ ملّي سيفرت ولكن ليس أعلى من ١٠٠ ملّي سيفرت. وكان المعتزم هو استخدام هذا المستوى المرجعي فيما يتعلق بالمعايير العامة للتعامل مع الإجراءات الوقائية الشخصية في الأحوال غير العادية، التي كثيراً ما تكون أحوالا قصوى، حيث يكون من شأن الإجراءات المتخذة للحد من التعرض أن تسبب الإخلال، على أساس أن الجرعة الفعالة التي تصل إلى نحو ١٠٠ ملّي سيفرت ستبرِّر دائمًا تقريبًا اتخاذ إجراءات وقائية. وبالنسبة لمراحل إعادة التأهيل في فترة ما بعد الحوادث، يمكن أن يكون المستوى المرجعي أكبر من ١ ملّي سيفرت، ولكن ليس أكثر من ٢٠ ملّي سيفرت. وأكدت التوصيات الجديدة أيضًا أن القيمة المختارة للمستوى المرجعي ستتوقف على الظروف السائدة فيما يتعلق بالتعرض قيد النظر.

وتم إدراج النهج الجديد في معايير الأمان الأساسية المنقحة، الصادرة في عام ٢٠١٤ بعنوان 'العدد GSR Part 3 من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة: الوقاية من الإشعاعات وأمان المصادر الإشعاعية: معايير الأمان الأساسية الدولية'.[198].

وكانت بعض الإجراءات الوقائية صعبة جدا على السلطات وشاقة إلى أقصى حد على الأفراد المتضررين والمجتمعات المحلية المتضررة [200, 201]. وكان الإيواء والإجلاء مخلا بصفة خاصة لنحو ١٦٠ ٠٠٠ شخص كانوا معزولين عن مجتمعاتهم المحلية ولا يتوفر لهم الحصول إلا على إمدادات محدودة لتلبية احتياجاتهم اليومية (الشكل ٤-٦(أ)). وتم في نهاية المطاف نقل الناس إلى أماكن أخرى، ولكن ظروفهم المعيشية المعتادة تضررت

تضررًا خطيرًا (الشكل ٤-٦(ب)). وكانت فرص العمل والمشاركة في الأنشطة المجتمعية محدودة. وكانت احتمالات المستقبل لهم غير مؤكدة والتخطيط للمستقبل صعبًا للغاية.

(أ)

(ب)

الشكل ٤-٦- أدى الإجلاء الأولي إلى ظروف ازدحام في الملاجئ. (أ) أحد كبار المسؤولين التنفيذيين في شركة طوكيو للطاقة الكهربائية (تيبكو) يعتذر للذين تم إجلاؤهم، وذلك في مركز إجلاء في ٢٢ آذار/مارس ٢٠١١ (الصورة مهداة من كويشي ناكومارا/AP Images/picturedesk.com) (ب) تضررت الظروف المعيشية المعتادة لمن أُعيد نقلهم تضررا كبيرا (الصورة مهداة من الدكتور يوجيرو كورودا/جامعة فوكوشيما الطبية).

كما أن الذين كانوا قد عانوا من عواقب الزلزال والتسونامي خضعوا أيضًا للمزيد من الضغط البدني والنفسي الناتج من إيوائهم وإجلائهم وترحيلهم. وكانت القيود المفروضة على المنتجات المخصصة للاستهلاك العام مهمة وضرورية، لكنها تسببت في ضرر اقتصادي وضرر للسمعة أو ضرر اجتماعي للمنتجين المحليين.

٤-٢-٢- تقييد التعرض المهني بما في ذلك تعرض عمال الطوارئ

اليابان طرف في 'اتفاقية الحماية من الإشعاعات' لعام ١٩٦٠ (الاتفاقية رقم ١١٥)، المعتمدة تحت رعاية منظمة العمل الدولية [164]. وكانت اللوائح اليابانية بشأن التعرض المهني متوافقة مع التوصيات والمعايير الدولية بشأن الوقاية الإشعاعية المهنية. وقد قررت هذه اللوائح حد الجرعة للتعرض المهني بجرعة فعالة قدرها ٢٠ ملّي سيفرت في السنة في المتوسط على مدى خمس سنوات، و٥٠ ملّي سيفرت في أي سنة واحدة [137]. وبالنسبة لعمال الطوارئ، وهم "العمال الذين يمكن أن يتعرضوا لجرعة تتجاوز حدود الجرعة المهنية أثناء أدائهم إجراءات ترمي إلى التخفيف من عواقب حالة طوارئ على صحة الإنسان وأمانه وعلى نوعية الحياة وعلى الممتلكات والبيئة" [48]، كان مطبقًا معيار للحد الأقصى للجرعة الفعالة قدره ١٠٠ ملّي سيفرت. وتعيّن أن ترفع السلطات اليابانية هذا المعيار مؤقتًا إلى حد جرعة قدره ٢٥٠ ملّي سيفرت لعمال الطوارئ الذين كانوا موجودين ضمن ٣٠ كم من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية حتى ١٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١ (انظر القسم ٣-٢).

وكان الحد المقرر بواسطة المعايير الدولية في وقت وقوع الحادث (معايير الأمان الأساسية لعام ١٩٩٦) لجرعات التعرض المهني في 'ظروف خاصة' هو ١٠٠ ملّي سيفرت [137]. وكان المستوى الأعلى للمستويات المرجعية الموصى بها دوليًا من قبل اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات هو أيضًا ١٠٠ ملّي سيفرت [129]، على الرغم من أن التوصيات تشير إلى أنه يجوز في حالات استثنائية أن يتلقى العمال المتطوعون الذين تم إبلاغهم بذلك جرعات أعلى من هذا المستوى لكي يتمكنوا من إنقاذ الأرواح أو منع الآثار الصحية الشديدة الناجمة من الإشعاعات أو منع نشوء وتطور ظروف كارثية. ولدى تحديد القيمة ٢٥٠ ملّي سيفرت، وضعت السلطات اليابانية في اعتبارها التوصيات السابقة الصادرة عن اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات، [196, 202] والمتطلبات الواردة في معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، التي تقترح قيمة إرشادية قدرها ٥٠٠ ملّي سيفرت

لمن يعملون في أنشطة الطوارئ، أو في عمليات الطوارئ التي تهدف إلى منع حدوث مزيد من التدهور من جراء حادث نووي. وتم تنفيذ حد الجرعة المنقح لعمال الطوارئ بموجب مرسوم الإعفاء الذي صدر من وزارة الصحة والعمل والشؤون الاجتماعية بعد ثلاثة أيام من إعلان السلطات حالة الطوارئ (١٤ آذار/مارس ٢٠١١). وقد أُلغي مرسوم الإعفاء في ١٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١ [203].

٤-٣- التعرّض للإشعاعات

على المدى القصير، كانت أهم العوامل التي ساهمت في تعرض الجمهور هي التالية: (١) التعرض الخارجي الناتج من النويدات المشعة الموجودة في الغيمة والمترسبة على الأرض؛ و(٢) التعرض الداخلي الذي يصيب الغدة الدرقية بسبب الأخذ الداخلي لليود-١٣١، والتعرض الداخلي الذي يصيب الأعضاء والأنسجة الأخرى والراجع أساسا إلى الأخذ الداخلي للسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧. وعلى المدى الطويل، سيكون أكثر العوامل المساهمة أهمية في تعرض الجمهور هو الإشعاع الخارجي الناتج من السيزيوم-١٣٧ المترسب.

وقد استُخدم في التقييمات المبكرة للجرعات الإشعاعية الرصد البيئي ونماذج تقدير الجرعات، وأدى ذلك إلى بعض حالات المغالاة في التقدير. وفيما يتعلق بالتقديرات الواردة في هذا التقرير، أُدرجت أيضا بيانات الرصد الفردي التي قدمتها السلطات المحلية، بغية توفير معلومات أدق عن الجرعات الشخصية الفعلية المتلقاة وعن توزيعها. وتشير هذه التقديرات إلى أن الجرعات الفعالة التي أصابت أفراد الجمهور كانت منخفضة، ومشابهة بصفة عامة لنطاق الجرعات الفعالة التي يتم تلقيها بسبب المستويات العالمية لإشعاعات الخلفية الطبيعية.

وفي أعقاب وقوع أي حادث نووي ينطوي على إطلاق كميات من اليود-١٣١ وأخذ داخلي له من جانب الأطفال، يكون أخذه الداخلي إلى غددهم الدرقية والجرعات اللاحقة التي يتلقونها مصدر قلق خاص. وفي أعقاب حادث فوكوشيما داييتشي، كانت الجرعات المكافئة المبلغ عنها التي تلقتها الغدد الدرقية للأطفال منخفضة لأن أخذهم الداخلي لليود-١٣١ كان محدودًا، ويرجع ذلك جزئيًا إلى القيود التي فُرضت على مياه الشرب وعلى الأغذية، بما فيها الخضروات الورقية والحليب الطازج. وهناك جوانب عدم تيقن بشأن الأخذ الداخلي لليود عقب الحادث مباشرة، نظرًا لشح بيانات الرصد الإشعاعي الفردي الموثوقة لهذه الفترة.

وبحلول كانون الاول/ديسمبر ٢٠١١، كان حوالي ٢٣ ٠٠٠ من عمال الطوارئ قد شاركوا في عمليات الطوارئ. وكانت الجرعات الإشعاعية الفعالة التي أصابت معظمهم أقل كثيرًا من حدود الجرعة المهنية في اليابان. ومن هذا العدد، كان ١٧٤ عاملاً قد تجاوزوا المعيار الأصلي الخاص بعمال الطوارئ، وكان ٦ من عمال الطوارئ قد تجاوزوا المعيار المنقح مؤقتا للجرعة الفعالة في حالات الطوارئ الذي وضعته السلطة اليابانية. وقد حدثت بعض أوجه القصور في تنفيذ متطلبات الوقاية من الإشعاعات المهنية، بما في ذلك أثناء الرصد والتسجيل المبكرين للجرعات الإشعاعية التي تلقاها عمال الطوارئ، وفي توافر واستخدام بعض المعدات الواقية، وفي التدريب المرتبط بها.

وقد استندت تقديرات الجرعات الواردة في هذا التقرير إلى التقديرات الدولية للجرعات التي وضعتها منظمة الصحة العالمية ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، وهي ملخصة في الإطار ٤-٩. واستفاد هذا التقرير أيضًا من توافر بيانات إضافية، ولا سيما من الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما والبيانات عن القياسات المباشرة للجرعات التي أجريت على الناس وعلى الإشعاعات الموجودة في البيئة. وقد قُدمت هذه البيانات من قبل الخبراء والمؤسسات والسلطات المحلية وحكومة اليابان، وكذلك شركة تيبكو، وأُخضعت للتحليل الإحصائي.

وقد اختلفت التقديرات لأنها أجريت في فترات مختلفة وبمنهجيات مختلفة. ففي حين كانت تقديرات منظمة الصحة العالمية أعلى عموما من تقديرات لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، كان هذا في المقام الأول لأن تقديرات منظمة الصحة العالمية كانت توقعات مبكرة للجرعات مستندة إلى بيانات محدودة للغاية في أعقاب الحادث. وكانت تقديرات منظمة الصحة العالمية واللجنة العلمية المذكورة للجرعات التي تلقاها أفراد الجمهور مقيّدة بمحدودية توافر القياسات الإشعاعية المباشرة للجرعات الشخصية التي أصابت الناس، وأجريت في المقام الأول باستخدام نماذج لتقدير الجرعات على أساس الظروف البيئية. وعلى الرغم من أن هذه الاختلافات تجعل من الصعب إجراء مقارنة تفصيلية فإن التقديرات الواردة في هذا التقرير وتقديرات منظمة الصحة العالمية واللجنة العلمية المذكورة متسقة إلى حد بعيد في الدلالة على أن الجرعات كانت عمومًا دون المستويات المرجعية المحددة في التوصيات والمعايير الدولية.

الإطار ٤-٩- تقديرات الجرعات التي أجرتها منظمة الصحة العالمية في عام ٢٠١٢ [146] ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري في عام ٢٠١٤ [148]

في عام ٢٠١٢، أصدرت منظمة الصحة العالمية تقييمًا مبكرًا للتعرض للإشعاعات نتيجة للحادث. ووفر التقييم تقديرًا أوليًا للجرعات الإشعاعية التي تلقاها أفراد نمطيون من الجمهور، أُجري بتطبيق تقنيات النمذجة على المعلومات التي أتاحتها على الصعيد العام المؤسسات الحكومية والتي تم جمعها حتى أيلول/سبتمبر ٢٠١١. وفي ذلك الحين، كانت البيانات اللازمة لإجراء تقييم كامل إما غير متوفرة أو غير كافية. واستُخدم عدد من الافتراضات الحذرة التي ربما تكون قد أدت إلى غلو في تقدير بعض الجرعات. فعلى سبيل المثال، استُخدمت افتراضات حذرة من أجل تقليل احتمال التقدير البخس للمخاطر الصحية التي تنشأ في نهاية المطاف فيما يتعلق بالإجراءات الوقائية واستهلاك الأغذية. ومع ذلك، أوضح التقييم أن الجرعة الفعالة الإجمالية النمطية التي تلقاها كل من أفراد الجمهور على حدة في موقعين من مواقع التعرض المرتفع نسبيا في محافظة فوكوشيما خلال السنة الأولى بعد وقوع الحادث كانت ضمن نطاق جرعة فعالة قدرها ١٠-٥٠ ملّي سيفرت. وفي هذه المواقع الأكثر تضررًا، كان التعرض الخارجي هو المساهم الرئيسي في الجرعة الفعالة. وفي بقية محافظة فوكوشيما، قدِّر أن الجرعة الفعالة تقع ضمن نطاق جرعة فعالة قدرها ١-١٠ ملّي سيفرت. وقُدِّر أن الجرعات الفعالة في معظم اليابان تقع ضمن نطاق جرعات فعالة قدرها ٠,١-١ ملّي سيفرت، بينما في بقية دول العالم كانت كل الجرعات الفعالة أقل من ٠,٠١ ملّي سيفرت، وفي العادة أقل من هذا المستوى بكثير.

وفي عام ٢٠١٤، أصدرت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري تقريرًا عن الحادث تضمّن الجرعات التقديرية التي أصابت العاملين وأفراد الجمهور. واستندت تقديرات الجرعات الفعالة الخارجية التي أصابت أفراد الجمهور إلى المعلومات المتاحة عن كثافة ترسيب السيزيوم-١٣٧ في مختلف المناطق على امتداد الزمن، وإلى الأنماط التقديرية لأماكن السكان وحركتهم. وأشارت تقديرات اللجنة العلمية المذكورة إلى أنه، في المناطق التي تم اخلاؤها التي كان يوجد فيها أعلى متوسط للتقديرات، كانت الجرعة الفعالة التي تلقاها البالغون قبل عملية الإجلاء وأثنائها، في المتوسط، أقل من ١٠ ملّي سيفرت، ونحو نصف هذا المستوى لمن تم إجلاؤهم في وقت مبكر. وقُدِّر أن البالغين الذين يعيشون في مدينة فوكوشيما تلقوا، في المتوسط، جرعة فعالة قدرها نحو ٤ ملّي سيفرت في السنة الأولى بعد الحادث؛ وكانت الجرعات الفعالة التقديرية للرضع الذين في سن عام واحد حوالي الضعف.

وقُدِّر أن من يعيشون في مناطق أخرى داخل محافظة فوكوشيما وفي المحافظات المجاورة تلقوا جرعات فعالة مشابهة لهذه أو حتى أقل منها؛ وقُدِّر أنه تم تلقي جرعات فعالة أقل في الأماكن الأخرى في اليابان. وقدَّرت اللجنة العلمية المذكورة أن الجرعات الفعالة المتلقاة على مدى العمر بسبب وقوع الحادث والتي يمكن، في المتوسط، أن يتلقاها من يواصلون العيش في فوكوشيما تبلغ أعلى قليلاً من ١٠ ملّي سيفرت. وكانت حالات التعرض للإشعاعات في الدول المجاورة وبقية العالم بسبب الحادث أقل بكثير من تلك التي تم تلقيها في اليابان؛ وكانت الجرعات الفعالة أقل من ٠,٠١ ملّي سيفرت. بيد أن اللجنة العلمية المذكورة شددت على وجود تفاوت كبير بين الأفراد حول هذه القيمة، تبعاً لمكانهم والأغذية التي يستهلكونها.

ملحوظة: كما هو مبين في الإطار ٤-٣ فإن الجرعات الأساسية الطبيعية العالمية التي أُبلغت عنها لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري هي جرعة سنوية يبلغ متوسطها ٢,٤ ملّي سيفرت (وهو ما يعني جرعة متراكمة على مدى العمر مجموعها نحو ١٧٠ ملّي سيفرت)، بمدى يتراوح عادة بين ١ و١٣ ملّي سيفرت، في حين تتلقى مجموعات سكانية كبيرة جرعات أساسية طبيعية تتراوح بين ١٠ و٢٠ ملّي سيفرت.

٤-٣-١- تعرض الجمهور

التعرض الخارجي

كان النهج الأوّلي لتقدير الجرعات الفعالة التي أصابت أفراد الجمهور بسبب التعرض الخارجي مستندًا أساسًا إلى البيانات المستمدة من القياسات البيئية لمعدلات مكافئ الجرعة المحيطة وإلى حسابات ودراسات استقصائية لأماكن الناس وسلوكهم الشخصي. وشملت البيانات المستخدمة قياسات واسعة النطاق لمكافئ الجرعة المحيطة، بما في ذلك استخدام أجهزة محمولة على السيارات.

وقد أعد المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية تقديرات للجرعات الفعالة الناتجة من حالات التعرض الخارجي التي أصابت من أجابوا على استبيانات الدراسة الاستقصائية المذكورة خلال الأشهر الأربعة التي أعقبت الحادث النووي [204]. واستندت التقديرات إلى التحركات التي أعلنها الناس ومستويات الإشعاعات ذات الصلة في البيئات المحلية.

ونُشر عدد من التقديرات للجرعات الشخصية الفعالة الناتجة من التعرض الخارجي في الأشهر الأربعة الأولى [208–205]. وعلى سبيل المثال، في منطقة سوسو[٩٤] (التي تضم 'منطقة إجلاء' و'منطقة إجلاء مقصود')، كانت هذه الجرعات أقل كثيرًا من ٥ ملّي سيفرت في حالة ٩٨,٧٪ من المقيمين (بجرعة فعالة قصوى قدرها ٢٥ ملّي سيفرت). وفي محافظة فوكوشيما في مجملها، بما في ذلك منطقة الإجلاء ومنطقة الإجلاء المقصود، كانت الجرعات أقل من ٣ ملّي سيفرت بالنسبة لـ ٩٩,٤٪ من المقيمين الذين شملتهم الدراسة الاستقصائية [208].

وقد أجري في هذا التقرير تحليل إحصائي للجرعات الفعالة الشخصية الناتجة من الإشعاعات الخارجية في مختلف بلديات محافظة فوكوشيما والتي قدَّرها المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية باستخدام بيانات الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما للفترة من ١١ آذار/مارس إلى ١١ تموز/يوليه ٢٠١١ (استُبعدت الجرعة الفعالة الناتجة من التعرض الخارجي لإشعاعات الخلفية الطبيعية). ونتائج هذا التحليل معروضة في الشكل ٤-٧ بالنسبة للبلديات الواقعة في المنطقة المندرجة في دائرة شعاعها ٢٠ كم وبالنسبة للبلديات الواقعة خارج هذه المنطقة. ويوضح هذا الشكل أيضًا أن الجرعات الخارجية في الأشهر الأربعة الأولى كانت، في المتوسط، أقل بين السكان الموجودين في منطقة العشرين كيلومترًا مما كانت عليه بين السكان الموجودين خارج المنطقة، نتيجة لإخلاء هذه المنطقة في وقت مبكر. وتميل النتائج المتحصل عليها داخل منطقة العشرين كيلومترًا إلى الدلالة على توزيعات أوسع من التوزيعات الخاصة بالأماكن الواقعة خارج هذه المنطقة. ويرجع ذلك إلى إجلاء أفراد المجتمع المحلي الواحد إلى عدة أماكن، وفي كثير من الأحيان حدوث عمليات نقل أخرى، حيث أدى ذلك إلى اختلافات في الجرعات المتلقاة. وقد نمذج المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية هذا النمط المعقد باستخدام ١٨ سيناريو للإخلاء.

---

[٩٤] منطقة في الجزء الشرقي من محافظة فوكوشيما، تضم مدينة سوما ومدينة مينامي-سوما وبلدة هيرونو وبلدة ناراها وبلدة توميوكا وقرية كاوايتشي وبلدة أوكوما وبلدة فوتابا وقرية كازوراو وبلدة ناميي وبلدة شينتي وقرية إيتاتي، وكان العديد من هذه المدن والقرى واقعًا داخل 'منطقة الإجلاء' أو 'منطقة الإجلاء المقصود'.

وهناك جوانب عدم تيقن مرتبطة باستخدام المقابلات مع السكان والقياس البيئي ونماذج تقدير الجرعات من أجل تقدير الجرعات التي أصابت أفراد الجمهور. ومن ثم فالرصد الإشعاعي الشخصي لأفراد الجمهور ضروري لإجراء إعادة تقدير موثوقة للجرعات الإشعاعية.

أما التأكيد الأكثر أهمية للجرعات الشخصية الناتجة من الإشعاعات الخارجية فقد وفرته البيانات المتعلقة بالرصد الفردي الذي أُجري باستخدام أجهزة قياس الجرعات الشخصية. وعندما توافرت نتائج الرصد الفردي، أتاحت المقارنة بين النهجين المختلفين - نهج استخدام الافتراضات بشأن عادات الناس والنماذج لتقدير *الجرعة الفعالة* المتلقاة مقابل نهج رصد *مكافئ الجرعة الشخصية* الفعلي المتلقَّى[٩٥].

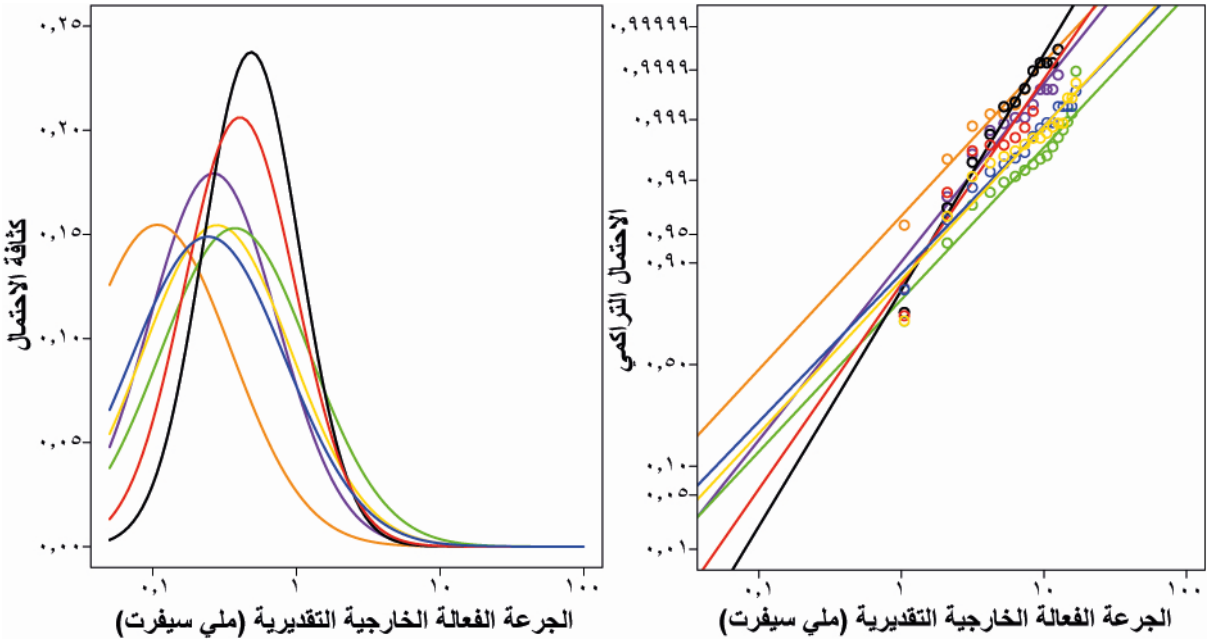
وقد أشارت النتائج إلى أن الجرعات التي تم تلقيها في الواقع، كما تم قياسها في أجهزة الرصد الشخصي، كانت أقل عمومًا من الجرعات التقديرية المستنتجة من الاستبيانات والنمذجة. ويرد في الشكل ٤-٨ مثال لمقارنة من هذا النوع أجرتها إحدى الحكومات المحلية، وهو يشير إلى أن الجرعات المستنتجة من النماذج تكون في العادة تقديرات مغالى فيها مقارنة بالجرعات المتلقاة في الواقع (وقد لوحظ ذلك أيضا خلال تقييمات الجرعات التي أجريت في أعقاب حادث تشرنوبل [169]).

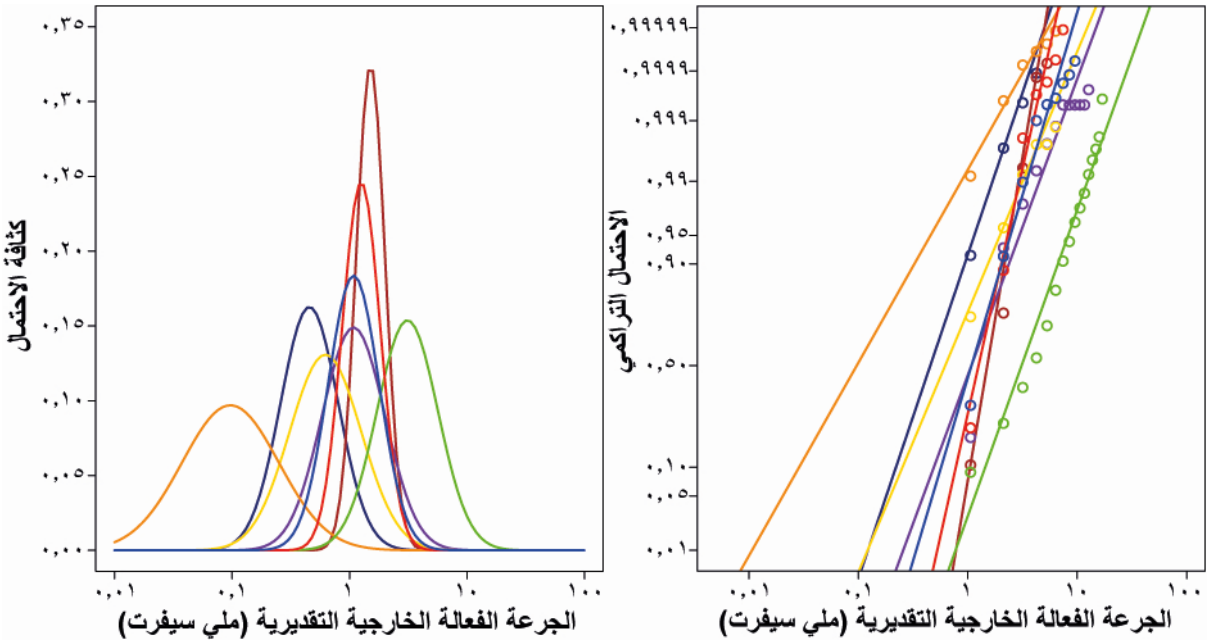
وتضمنت الكمية الكبيرة من المعلومات التي قدمتها اليابان للوكالة بيانات عن مكافئات الجرعة الشخصية ونتائج مستمدة من قياسات عدّ الجرعات في كامل الجسم.

وقد سُجلت هذه المعلومات في أوقات مختلفة، وعلى مدى فترات مختلفة، وباستخدام تقنيات قياس مختلفة، وأجريت القياسات في كثير من المناطق المتضررة، ولكن ليس في كل تلك المناطق. والأمر المشترك بين هذه البيانات هو أن جميع مكافئات الجرعة الشخصية منخفضة (كانت الجرعات الفعالة المودعة التي تم تقديرها من عدّ الجرعات في كامل الجسم لا تكاد تذكر، انظر أدناه)، ونتجت من ذلك مستويات جرعة فعالة مشابهة لمستويات الجرعة الفعالة النمطية الناتجة من إشعاعات الخلفية الطبيعية.

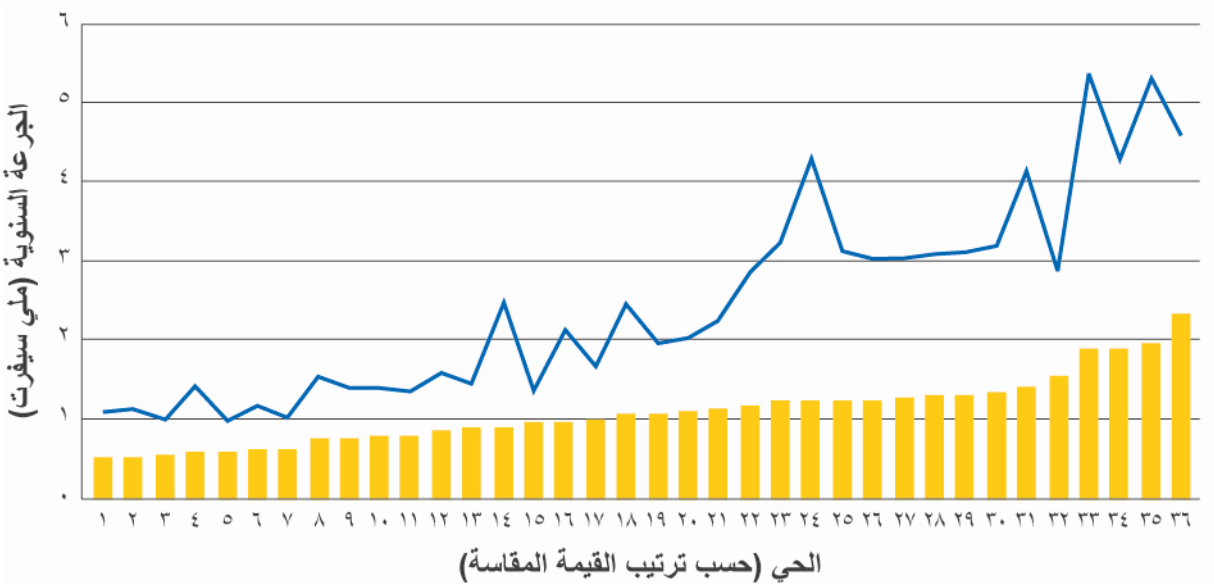
---

[٩٥] الكمية المستخدمة للرصد الفردي، وهي مكافئ الجرعة الشخصية، هي بديل لكمية الجرعة الفعالة.

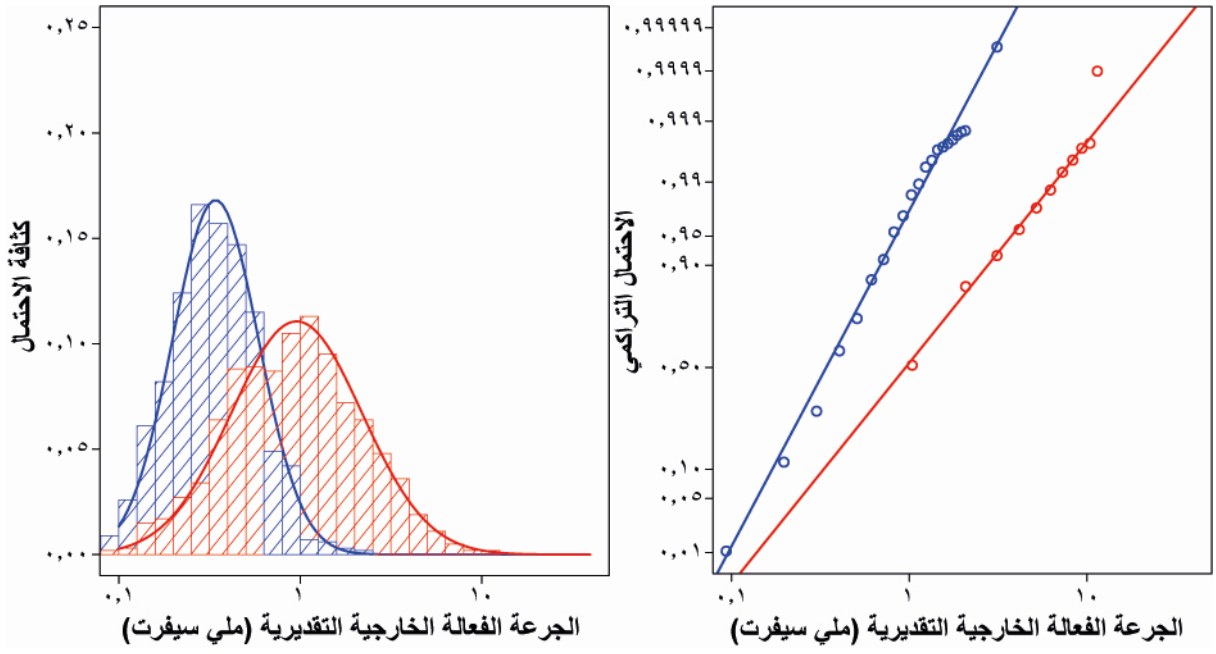




الشكل ٤-٧- كثافة الاحتمال اللوغارثمي الطبيعي المثالي الموحد والتوزيعات الاحتمالية التراكمية للجرعات الفعالة الخارجية التقديرية في مختلف مدن وبلدات وقرى محافظة فوكوشيما في الأشهر الأربعة التي تلت وقوع الحادث، على أساس بيانات الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما. ويمثل الجزء الأعلى من الشكل التحليل الخاص بالأماكن الواقعة في المنطقة المندرجة في الدائرة التي يبلغ شعاعها ٢٠ كم (انظر القسم ٣)، ويمثل الجزء الأسفل من الشكل التحليل الخاص بالأماكن الواقعة خارج هذه المنطقة. ويبين المفتاح الوارد أسفل الرسوم البيانية متوسط الجرعات ونطاق الثقة بنسبة ٩٥٪ فيما يتعلق بهذه الأماكن. وفي البيانات الأصلية، تم تجميع كل الجرعات الأقل من ١ ملي سيفرت في فئة الجرعات البالغة ١ ملي سيفرت.



الشكل ٤-٨- مقارنة الجرعات الشخصية الخارجية التقديرية بالجرعات المقاسة، لمدينة متضررة تمثيلية، في الفترة بين تموز/يوليه ٢٠١٢ وحزيران/يونيه ٢٠١٣ . ويتم تقدير الجرعات الفعالة بطريقة التقدير الإحصائي (مبيَّن بالخط)، باقتراض المكوث في الأماكن المغلقة والتدريع لمدة ١٦ ساعة والمكوث في الهواء الطلق لمدة ٨ ساعات؛ وعن طريق الرصد الشخصي (مبيَّن بالأعمدة) لمكافئ الجرعة الشخصية في أحياء مختلفة من المدينة (مبيَّنة بالأرقام) [209].



الشكل ٤-٩- التوزيع الاحتمالي لمكافئات الجرعات الشخصية المرصودة لأفراد الجمهور خلال عام ٢٠١١، المقدمة من حكومة اليابان بشأن بلديتين في المنطقة المتضررة توفرت عنهما بيانات محسوبة على أساس سنوي. وتوزيع كثافة الاحتمال المثالي الموحد موضح بالنسبة للمدينة ١ (اللون الأحمر)؛ وكثافة الاحتمال المثالي الموحد موضحة بالنسبة للمدينة ٢ (اللون الأزرق)؛ والتوزيع الاحتمالي التراكمي موضح بالنسبة للبلديتين كلتيهما (انظر الإطار ٤-٦). ويبين التحليل أن مكافئات الجرعة الشخصية السنوية منخفضة، وتبلغ متوسطاتها أقل من ١ ملّي سيفرت في السنة، وتوفِّر ثقة بنسبة ٩٥٪ بأن الأفراد الذين تلقوا جرعات فعالة في هاتين البلديتين تلقوا جرعات أقل من ٥ ملّي سيفرت.

ويوضح الشكل ٤-٩ هذا التحليل بالنسبة لبلديتين في المناطق المتضررة توافرت عنهما معلومات محسوبة على أساس سنوي. وقد أكد التحليل أن مكافئات الجرعة الشخصية السنوية منخفضة، بمتوسط جرعات فعالة أقل من ١ ملّي سيفرت في السنة، بما يوفر ثقة بنسبة ٩٥٪ بأن الناس تلقوا جرعات فعالة أقل من ٥ ملّي سيفرت.

التعرض الداخلي

أجرى المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية والوكالة اليابانية للطاقة الذرية ومنظمات أخرى في اليابان قياسات للأخذ الداخلي للنويدات المشعة باستخدام طريقة عدّ الجرعات في كامل الجسم.

وبعد وقوع الحادث، أُجري الرصد على أكثر من ٢٠٠ ٠٠٠ من المقيمين في أماكن مختلفة داخل محافظة فوكوشيما. وكانت المستويات أقل عموما من المستوى المنخفض للغاية لأدنى نشاط قابل للكشف عنه بواسطة عدادات الجرعات في كامل الجسم، وتشير إلى الأخذ الداخلي لكميات ضئيلة أو عدم الأخذ الداخلي لأي كميات من النويدات المشعة إلى الجسم. ونتيجة لذلك، لم يكن من الممكن ولا من الضروري إجراء تحليل إحصائي مفصل لهذه البيانات.

وحيثما كان بالوسع تحويل كميات الأخذ الداخلي المقيسة إلى جرعات فعالة، مع وضع افتراضات بشأن وقت الأخذ الداخلي وطبيعته، كانت الغالبية العظمى من تقديرات الجرعة الفعالة المودعة أقل من ١ ملّي سيفرت [210]. وأُبلغ بأن إيداع الجرعات الفعالة التقديري المستمد من قياسات عد الجرعات في كامل الجسم لكل من السيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧ كان أقل من حوالي ١ ملّي سيفرت في حالة ٩٩٪ من المقيمين [206].

وقد أُجري العديد من قياسات عد الجرعات في كامل الجسم بعد عدة أشهر من وقوع الحادث، [211, 212] وهي لذلك لا تنطبق في كثير من الأحيان إلا على السيزيوم-١٣٧ والسيزيوم-١٣٤، بسبب قصر العمر النصفي لليود-١٣١. ونظرا لأهمية الأخذ الداخلي لليود-١٣١ عن طريق الاستنشاق والابتلاع كليهما، في الشهر الأول بعد وقوع الحادث، فإن هذا جعل إصدار الأحكام بشأن التعرض الداخلي صعبًا. إلا أنه أمكن الكشف عن اليود-١٣١ في القياسات التي أُجريت في جامعة ناغازاكي على من تم إجلاؤهم من محافظة فوكوشيما ومن زاروها لمدد قصيرة [213]. وكانت أعلى جرعة ممتصة تقديرية تلقتها الغدة الدرقية هي ٢٠ ملّي غراي (أي جرعة مكافئة تلقتها الغدة الدرقية قدرها ٢٠ ملّي سيفرت)، وكانت الجرعة الفعالة المناظرة حوالي ١ ملّي سيفرت.

وكانت الجرعات الداخلية المتلقاة في الفترة الأولى تتوقف على ما إن كان الناس يأكلون الأغذية المنتجة محليًا أم أغذية من مكان آخر، أو يشربون ماء الصنبور، خلال الأيام القليلة الأولى، قبل تطبيق القيود بالكامل. وتشير الدراسات الاستقصائية عن أهم الأغذية المستهلكة إلى أن التعرض الناتج من استهلاك الحليب والأغذية والماء كان منخفضًا جدًا، لأن الحليب والأغذية المنتجة محليًا لم توزع على الملاجئ، ولم يُستخدم للشرب ولتحضير حليب الأطفال سوى المياه المعبأة في زجاجات.

وكان التعرض الناتج من استهلاك الخضروات منخفضًا لأن القليل جدا، أو لا شيء، من الخضروات المنتجة محليا المزروعة في الهواء الطلق كان يؤكل (كان الوقت أوائل الربيع، قبل بداية موسم الزراعة). وعمليا كانت الخضروات المنتجة محليًا التي تستهلك هي فقط تلك المزروعة في البيوت المحمية، التي لم تكن ملوثة.

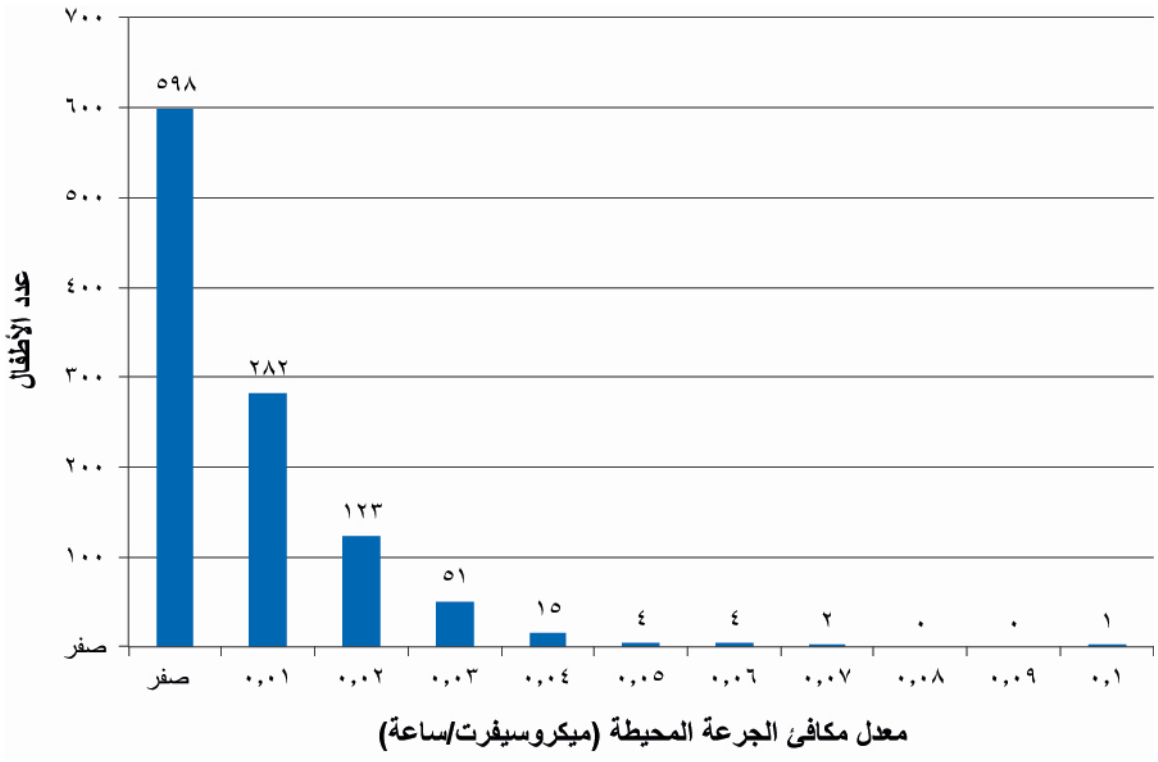
الجرعات التي تلقتها الغدة الدرقية لدى الأطفال

في أعقاب وقوع أي حادث نووي ينطوي على انبعاثات كبيرة من اليود-١٣١، تكون الجرعات التي تصيب الغدة الدرقية لدى الأطفال شاغلاً هامًا بالنسبة لصحة الجمهور. والمسار المحتمل الرئيسي للجرعات التي تتلقاها الغدة الدرقية لدى الأطفال هو في العادة تناول الحليب المحتوي على اليود-١٣١.

إلا أن الأخذ الداخلي النمطي لليود-١٣١ عن طريق حليب البقر كان منخفضا جدا عقب وقوع الحادث، بسبب عدد من العوامل. فممارسات مزارع الألبان في اليابان، مثل إيواء الماشية عمومًا، حالت دون ابتلاع أبقار مزارع الألبان لليود-١٣١. وكان الأخذ الداخلي لليود-١٣١ عن طريق الحليب محدودًا أيضًا بسبب مساهمة الحليب المنخفضة نسبيًا في النظام الغذائي للرضع، وبسبب القيود الصارمة على استهلاك الحليب التي فرضتها السلطات في أعقاب الحادث. وفي حين كانت هناك مسارات بديلة لابتلاع اليود-١٣١، مثل استهلاك الخضروات الورقية ومياه الشرب، وبخاصة في الفترة المبكرة جدًا بعد وقوع الانبعاثات، أدت القيود التي فرضت فورًا على مياه الشرب والأغذية إلى الحد من الأخذ الداخلي عبر هذه المسارات.

ونتيجة لهذه العوامل فإن من المرجح أن الأخذ الداخلي لليود-١٣١ من قبل الأطفال كان منخفضًا، ويرجع أساسًا إلى الاستنشاق. بيد أنه كانت هناك أوجه عدم تيقن مرتبطة بتقديرات الأخذ الداخلي لليود-١٣١ والجرعات المكافئة التي تلقتها الغدة الدرقية لدى الأطفال في الأيام القليلة الأولى بعد وقوع الحادث.

فقد قدِّرت الجرعات التي تلقتها الغدة الدرقية لدى الأطفال عن طريق رصد مستويات الإشعاعات الخارجية الناتجة من نشاط اليود-١٣١ في تلك الغدة. وقيست هذه المستويات على الجلد، بالقرب من الغدة الدرقية، لدى أطفال المناطق التي تم التنبؤ بأن جرعات الغدة الدرقية فيها ستكون عالية. وأُبلغ عن عدد محدود من هذه القياسات المباشرة فيما يخص الأسابيع التي تلت الحادث. ويرد في الشكل ٤-١٠ ملخص لنتائج دراسة أُجري فيها ١٠٨٠ قياسًا على أطفال في سن عام واحد إلى سن ١٥ عامًا في مدينة إواكي وبلدة كاواماتا وقرية ليتاتي في الفترة ٢٦ إلى ٣٠ آذار/مارس ٢٠١١ [214].



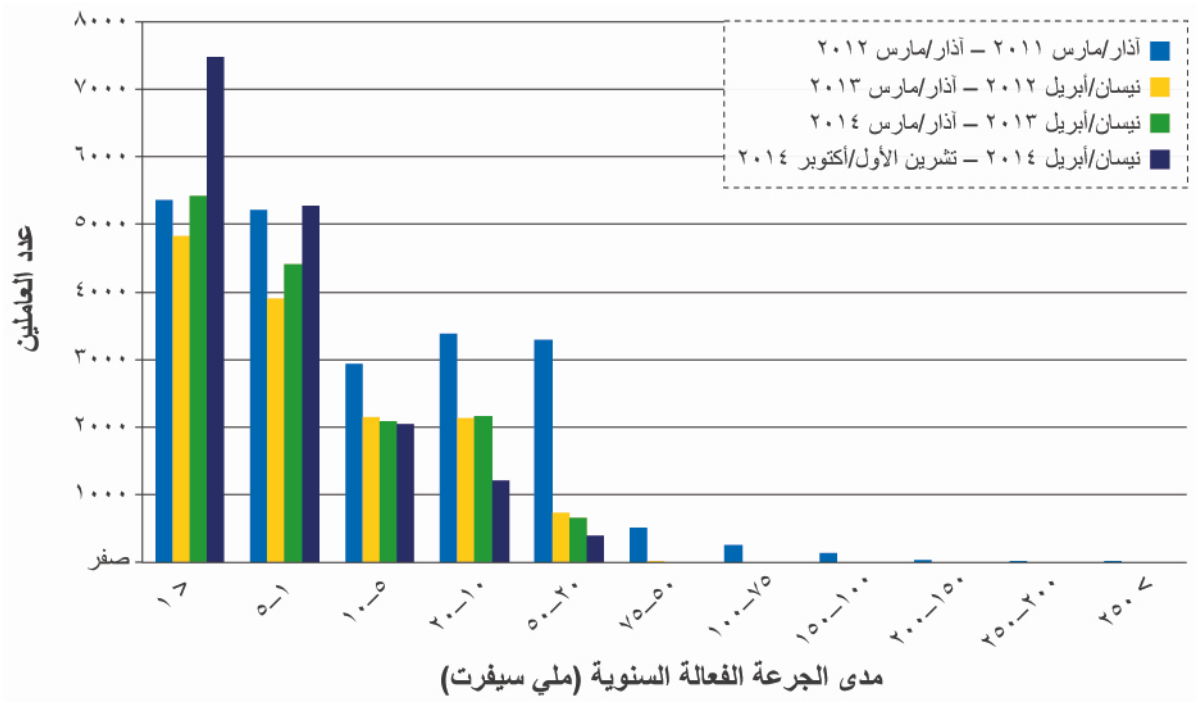
الشكل ٤-١٠- توزيع صافي قيمة معدل الجرعة المقيس الذي تلقته الغدة الدرقية والذي تم تقديره بطرح قيمة أشعة الخلفية الطبيعية من القيمة المقروءة [214]، أي معدلات صافي مكافئ الجرعة المحيطة في الغدة الدرقية، لدى ١٠٨٠ طفلًا في سن صفر إلى ١٥ عامًا. وفي حالة ٩٩٪ من الأطفال الذين أجري عليهم الاختبار، كان معدل مكافئ الجرعة المحيطة المقيس بالقرب من الغدة الدرقية هو ٠,٠٠٠ ٤ ملّي سيفرت في الساعة أو أقل، بما يناظر جرعة مكافئة تلقتها الغدة الدرقية قدرها نحو ٢٠ ملّي سيفرت أو أقل.

وكان أعلى مكافئ جرعة محيطة تم قياسه بالقرب من الغدة الدرقية للأطفال البالغين من العمر سنة واحدة هو ٠,٠٠٠١ ملّي سيفرت في الساعة، ومن شأن ذلك أن يكون متسقا مع جرعة ممتصة تلقتها الغدة الدرقية تبلغ نحو ٥٠ ملّي غراي (جرعة مكافئة تلقتها الغدة الدرقية قدرها ٥٠ ملّي سيفرت). وأفيد بأن الجرعات المكافئة التي تلقتها الغدة الدرقية، والتي تم تحديدها في آذار/مارس ٢٠١١ بواسطة عداد مسحي لقياس التلألؤ يستخدم يوديد الصوديوم المنشَّط بالثاليوم لدى أطفال في منطقة الإجلاء و'مناطق الإجلاء المقصود'، كانت أقل من حوالي ١٠ ملّي سيفرت لدى ٩٥,٧٪ من الأطفال (بحد أقصى قدره ٤٣ ملّي سيفرت) [214]. ومن المرجح أن جميع الجرعات كانت أقل من القيمة العامة المُثلى التي تستوجب التدخل للمعالجة الوقائية باليود والبالغة ١٠٠ ملّي غراي فيما يخص الجرعة الممتصة المودعة التي يمكن تلافيها التي تتلقاها الغدة الدرقية بسبب اليود المشع، والتي تقررت في معايير الأمان الأساسية في عام ١٩٩٦ [137]. وكانت أيضاً أقل من الجرعة المتوقعة البالغة ٥٠ ملّي سيفرت في الأيام السبعة الأولى فيما يتعلق بحجب الغدة الدرقية بتعاطي اليود، التي تقررت في معايير الأمان الأساسية المنقحة [198] كمعيار عام لاتخاذ الإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى في حالات التعرض الطارئة من أجل الحد من خطر حدوث الآثار العشوائية. ومقارنة بذلك، امتدت الجرعات الممتصة التي تلقتها الغدة الدرقية لدى الأطفال في أعقاب حادث تشرنوبل إلى عدة آلاف ملّي غراي [169, 178]، وهذا أعلى بما يقرب من ١٠٠ مرة إلى ١٠٠٠ مرة.

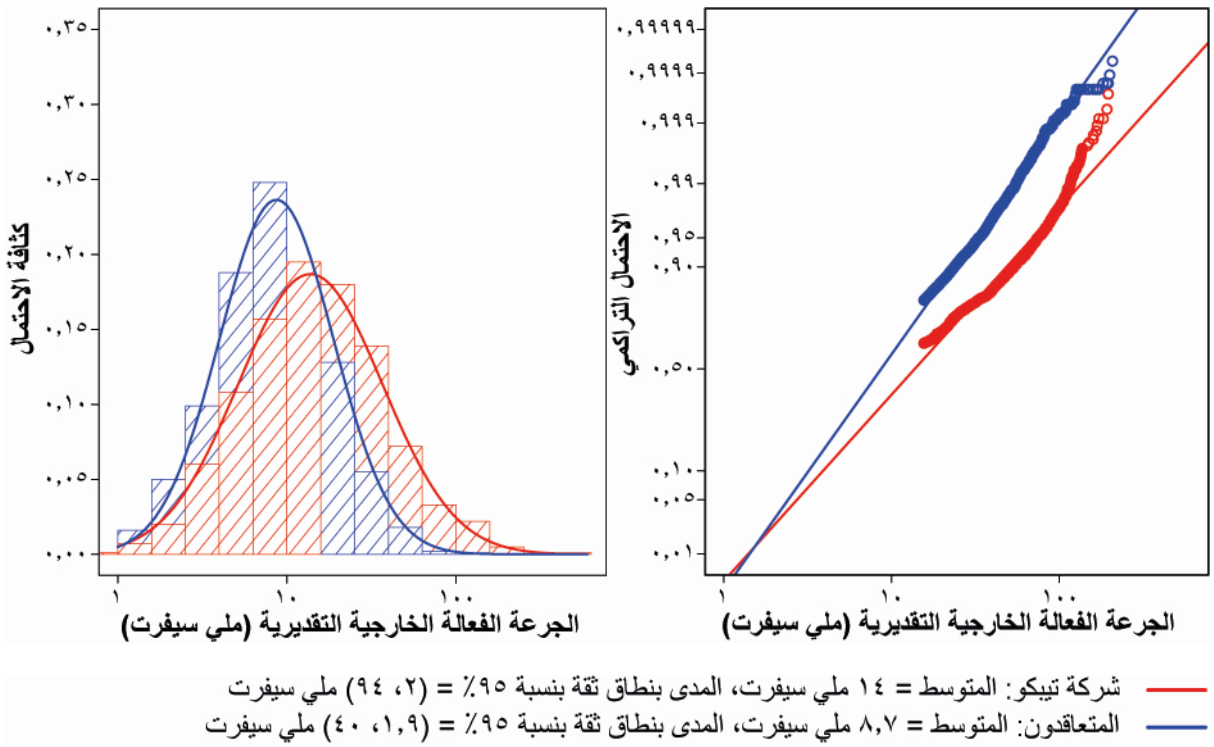
٤-٣-٢- التعرض المهني

عقب وقوع الحادث، تعرض على الفور عمال الطوارئ الموجودون في الموقع لظروف عمل قاسية إلى أقصى حد ومستويات إشعاعية عالية للغاية وهم يسعون إلى تحقيق استقرار المفاعلات. وفي الفترة من آذار/مارس ٢٠١١ إلى آذار/مارس ٢٠١٢، تجاوز ١٧٤ عاملاً من بين العمال البالغ عددهم نحو ٠٠٠ ٢٣ عامل الذين كانوا في الموقع المعيار الأصلي للجرعة الفعالة في حالات الطوارئ البالغ ١٠٠ ملّي سيفرت، وتجاوز ستة منهم المعيار (المنقح مؤقتًا) للجرعة الفعالة في حالات الطوارئ البالغ ٢٥٠ ملّي سيفرت. ولم يتجاوز أي عمال جرعة فعالة قدرها ١٠٠ ملّي سيفرت في السنوات اللاحقة. وتجاوز عامل واحد[٩٦] حد الجرعة الفعالة المهنية السنوية البالغ ٥٠ ملّي سيفرت في الفترة من نيسان/أبريل ٢٠١٢ إلى آذار/مارس ٢٠١٣ [203]. ويعرض الشكل ٤-١١ مقارنة للجرعات الفعالة التي أصابت عمال الطوارئ في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بين آذار/مارس ٢٠١١ وتشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٤.

[٩٦] تم تصنيف العامل المذكور بأنه تلقى حد جرعة الطوارئ البالغ ١٠٠ ملّي سيفرت، بدلاً من حد الجرعة المهنية البالغ ٥٠ ملّي سيفرت في السنة.



الشكل ٤-١١- مقارنة الجرعات الفعالة التي تلقاها عمال الطوارئ في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بين آذار/مارس ٢٠١١ وتشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٤ (عمال شركة تيبكو والعمال المتعاقدون معها). وقد حدثت جرعات فعالة عالية خلال السنة التي أعقبت الحادث. وبحلول عام ٢٠١٢ كانت الجرعات الفعالة التي تصيب العمال منخفضة، وكانت مشابهة لتلك التي تصيبهم خلال التشغيل العادي [215].



الشكل ٤-١٢- توزيع كثافة الاحتمال المثالي الموحد والتوزيع الاحتمالي التراكمي (انظر الإطار ٤-٦) لمكافئ الجرعة الشخصية الذي تم رصده فيما يتعلق بعمال شركة تيبكو والعمال المتعاقدين معها لسنة ٢٠١١. وكانت الجرعات التي تلقاها عمال تيبكو أعلى عمومًا من تلك التي تلقاها العمال المتعاقدون، لأن عمال تيبكو كانوا يعملون في مناطق ذات جرعة أعلى [215].

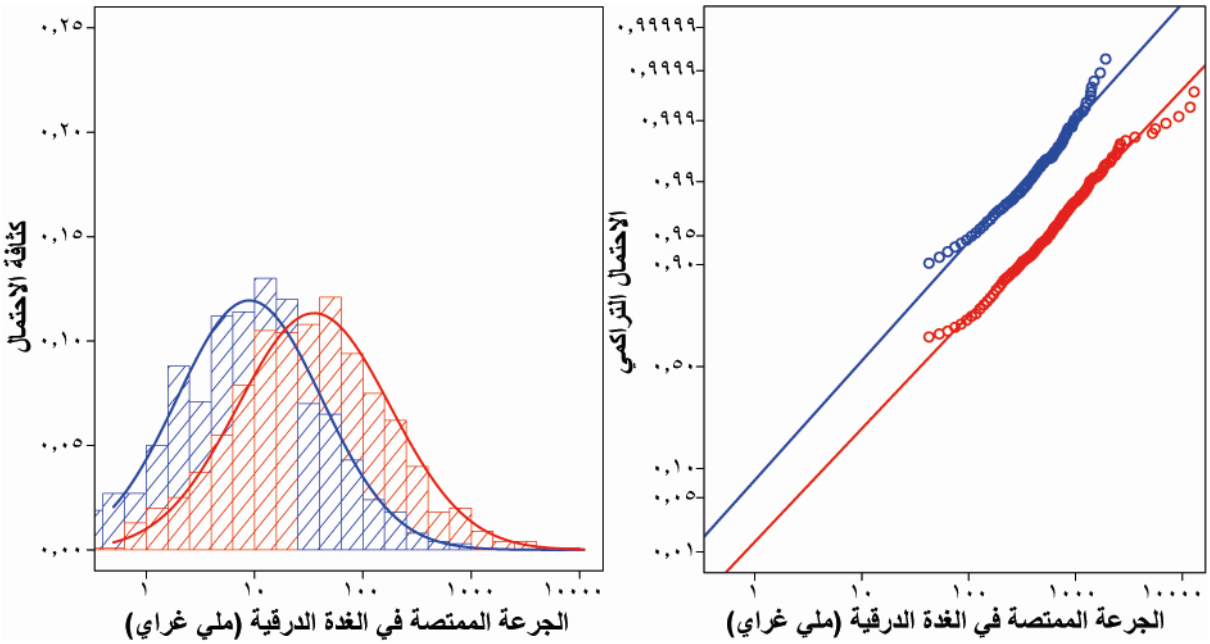
وقد وفرت شركة تيبكو قيم مكافئ الجرعة الشخصية الخاصة بعمالها والعمال المتعاقدين معها، وأُجري تحليل إحصائي لهذه القيم. والنتائج معروضة في الشكل ٤-١٢.

وفي المرحلة المبكرة، كان المساهم الرئيسي في الجرعات الفعالة، ولا سيما الجرعات التي أصابت ستة عمال طوارئ كانوا يعملون في الموقع وتجاوزوا معيار الجرعة المنقح مؤقتًا لعمال الطوارئ، هو التعرض الداخلي الناتج من الأخذ الداخلي للنويدات المشعة. وقد تسببت في ذلك التحديات المرتبطة بظروف العمل القاسية في حالة الطوارئ، والاستخدام غير السليم لأجهزة التنفس، وعدم كفاية التدريب.

وكان معظم الجرعات الداخلية جرعات مكافئة تلقتها الغدة الدرقية من استنشاق اليود-١٣١. وعلى الرغم من أن غالبية العاملين في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية تلقوا جرعات مكافئة في الغدة الدرقية أقل من ١٠٠ ملّي سيفرت فقد تلقى ٧٥٧ ١ عاملًا جرعات مكافئة في الغدة الدرقية أعلى من هذا المستوى، وتلقي ١٧ عاملًا جرعات مكافئة في الغدة الدرقية أعلى من ٢٠٠٠ ملّي سيفرت، وتلقى اثنان جرعات مكافئة في الغدة الدرقية تزيد على ٠٠٠ ١٢ ملّي سيفرت [216].

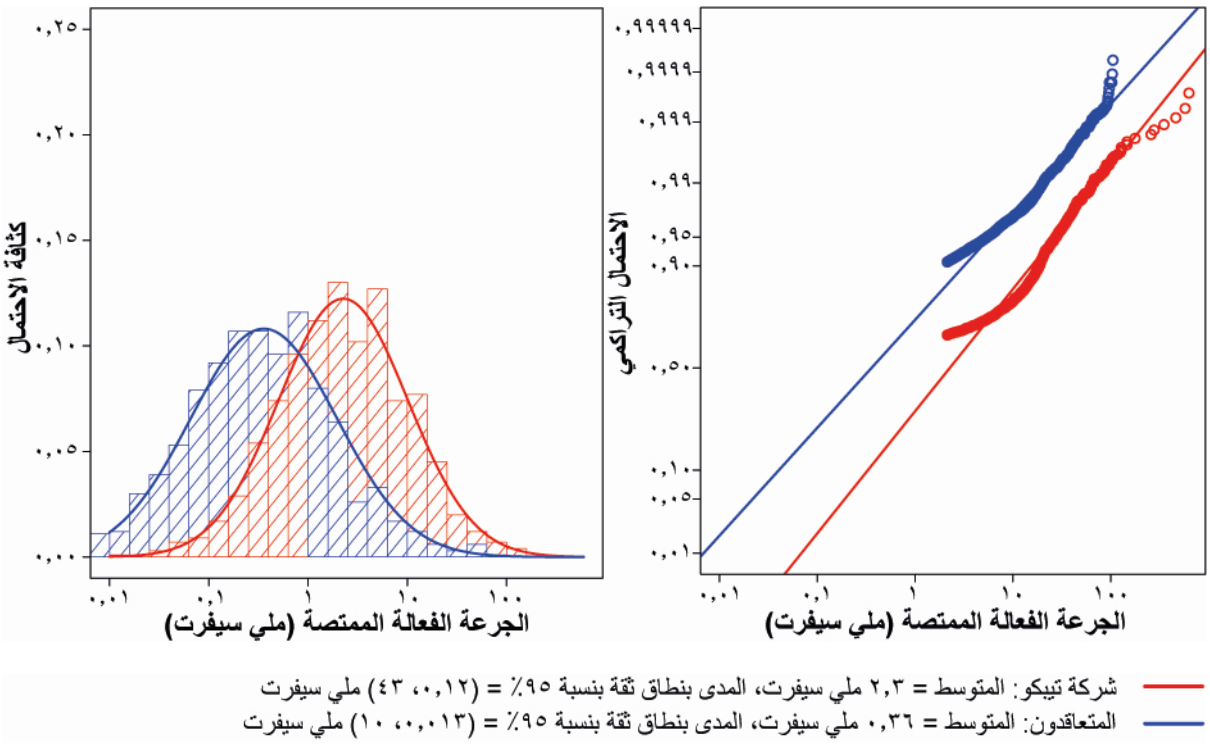
وهناك عدة أوجه من عدم التيقن مرتبطة بتقديرات الجرعات الإشعاعية التي تلقاها العمال نتيجة للتعرض الداخلي، وخصوصًا فيما يتعلق بالجرعات المكافئة التي تلقتها الغدة الدرقية. وعلى سبيل المثال فالسيناريو المفترض لإدماج النويدات المشعة في الجسم (التوقيت، مثلاً) هو أمر حاسم الأهمية لتقدير الجرعة الداخلية. وكان هناك أيضًا بعض التأخر في إجراء قياسات الغدة الدرقية، بسبب العمليات وبسبب الظروف العامة بعد الحادث. وقد أجرت وزارة الصحة والعمل والشؤون الاجتماعية إعادة تقييم للجرعة الفعالة المودعة التي تلقاها عمال الطوارئ. وعززت الوزارة توحيد المنهجيات الخاصة بإجراء تقييمات حذرة للجرعات الداخلية، لكي يتم – إلى أقصى حد يكون من المعقول تحقيقه – تجنب التقديرات التي تبخس تقدير قيم الجرعات [217].

ويرد في الشكل ٤-١٣ التحليل الإحصائي لتوزيع الجرعات الممتصة المبلغ بأن الغدة الدرقية تلقتها وتوزيع الجرعة الفعالة المودعة التقديرية الناتجة من التعرض الداخلي.



شركة تيبكو: المتوسط = ٣٥ ملي غراي، المدى بنطاق ثقة بنسبة ٩٥٪ = (١,٥، ٨٥٠) ملي غراي
المتعاقدون: المتوسط = ٩ ملي غراي، المدى بنطاق ثقة بنسبة ٩٥٪ = (٠,٤٤، ١٨٠) ملي غراي

(أ)



(ب)

الشكل ٤-١٣ - توزيع كثافة الاحتمال المثالي الموحد والتوزيع الاحتمالي التراكمي للجرعات الداخلية (انظر الإطار ٤-٦). (أ) الجرعة الممتصة التي تلقتها الغدة الدرقية؛ و(ب) الجرعة الفعالة المودعة الناتجة. ويمكن أن يعني التوزيع الأعلى من المتوقع فيما يخص الجرعات الأدنى أن كل الذين كان النشاط الإشعاعي غير قابل للكشف عنه في حالتهم تم تعيين جرعات لهم تعادل المستوى القابل للكشف عنه [215].

والتعرض المهني للعمال الموجودين في الموقع متوافق مع النتائج التي توصلت إليها لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري. وقد استُخدمت في التحليل الإحصائي للجرعات في هذا التقرير، الجرعات المعاد تقييمها الخاصة بعمال شركة تيبكو والمتعاقدين معها، التي أصبحت متاحة بعد نشر تقرير اللجنة العلمية المذكورة، وقلل ذلك من جوانب عدم التيقن. ولا تزال هناك جوانب عدم تيقن بشأن الجرعات الناتجة من النويدات المشعة القصيرة العمر، وتأثير علو مستوى إشعاعات الخلفية الطبيعية في القياسات المبكرة التي أجريت بطريقة عد الجرعات في كامل الجسم، وحالات التأخير في إجراء قياسات الغدة الدرقية، وعدم كفاية معلومات الاختبار الأحيائي. وتعمل المنظمات في اليابان على زيادة خفض أوجه عدم التيقن في تقييم الجرعات المهنية، وتحديدا في تقييمات التعرض الداخلي (على سبيل المثال المرجع [218]).

وقد شارك أيضًا رجال الاطفاء وضباط الشرطة وأفراد قوة الدفاع الذاتي اليابانية في مجموعة من أنشطة الطوارئ في الموقع (انظر القسم ٣). ولم يتلق أي من أفراد هذه الفئة جرعات فعالة تزيد على ١٠٠ ملّي سيفرت، وتلقت غالبيتهم جرعات فعالة أقل من ١٠ ملّي سيفرت. ومن بين العاملين البالغ عددهم أكثر من ٨ ٠٠٠ الذين عملوا خارج الموقع الذين توفرت عنهم معلومات قياس الجرعات، تلقى خمسة جرعة فعالة تزيد على ١٠ ملّي سيفرت ولكن أقل من ٢٠ ملّي سيفرت. وكانت الجرعة الفعالة القصوى المسجلة لضباط الشرطة الذين عملوا خارج الموقع حوالي ٥ ملّي سيفرت.

وقام عاملون من بلدان أخرى بتقديم مساعدتهم خلال حالة الطوارئ. وتدل البيانات المتاحة على أنه، من بين المنتمين إلى الولايات المتحدة الذين قاموا بعمليات رصد بيئي في منطقة فوكوشيما أو ساعدوا في القيام بها،

كانت الجرعة الفعالة القصوى المتلقاة ٠,١٢ ملّي سيفرت لأفراد جيش الولايات المتحدة و٠,٠٦٨ ملّي سيفرت لموظفي وزارة الطاقة في الولايات المتحدة [219]، ولكن كانت كلها أقل من الحدود الرقابية. ولدى موظفي الوكالة الذين شاركوا في الرصد البيئي وقدموا المشورة بشأن الوقاية والأمان، كان متوسط الجرعة الفعالة نحو ٠,٥ ملّي سيفرت، في حين تلقى موظف واحد جرعة فعالة قدرها حوالي ٢,٥ ملّي سيفرت من التعرض الخارجي.

٤-٤- الآثار الصحية

لم تلاحظ بين العاملين أو أفراد الجمهور آثار صحية مبكرة مستحثة إشعاعيا يمكن أن تعزى إلى الحادث.

ويمكن أن تبلغ فترة كمون الآثار الصحية الإشعاعية المتأخرة عقودا من الزمن، ومن ثم فإن إمكانية حدوث هذه الآثار بين السكان المعرضين لا يمكن استبعادها عن طريق عمليات الرصد التي تجرى بعد التعرض بسنوات قليلة. غير أنه بالنظر إلى تدني مستويات الجرعات المبلغ عنها بين أفراد الجمهور فإن استنتاجات هذا التقرير تتفق مع استنتاجات لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري المقدمة إلى الجمعية العامة للأمم المتحدة. فقد خلصت اللجنة العلمية المذكورة إلى أنه "لا يتوقع حدوث زيادة يمكن تمييزها في الآثار الصحية ذات الصلة بالإشعاعات على أفراد الجمهور أو ذريتهم" (ورد ذلك في سياق الآثار الصحية المتصلة بـ" مستويات وآثار التعرض للإشعاعات الناجمة عن الحادث النووي الذي أعقب الزلزال الكبير والتسونامي اللذين ضربا شرق اليابان في عام ٢٠١١") [148]. وخلصت اللجنة العلمية المذكورة إلى أنه، لفئة العمال الذين تلقوا جرعات فعالة قدرها ١٠٠ ملّي سيفرت أو أكثر، "من المتوقع ارتفاع حالات الإصابة بالسرطان في صفوف هذه المجموعة في المستقبل. ومع ذلك، فليس من المتوقع حدوث زيادة يمكن تمييزها في الإصابة بالسرطان ضمن هذه المجموعة، بسبب صعوبة تأكيد هذا الحدوث الصغير بالنظر إلى التقلبات الإحصائية الطبيعية في حدوث السرطان" [148].

وقد نُفذت الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما من أجل رصد الحالة الصحية لسكان محافظة فوكوشيما المتضررين. وتهدف الدراسة الاستقصائية المذكورة إلى الكشف عن الأمراض وعلاجها في وقت مبكر، فضلا عن الوقاية من الأمراض المتصلة بنمط الحياة. وفي وقت كتابة هذا التقرير، كان يجري فحص مكثف للغدد الدرقية للأطفال، كجزء من الدراسة الاستقصائية. وتُستخدم معدات شديدة الحساسية، كشفت عن تشوهات عديمة الأعراض للغدة الدرقية بين عدد كبير من الأطفال الذين شملتهم الدراسة الاستقصائية (لم تكن الوسائل السريرية ستكشف عنها). ولا يرجح أن تكون التشوهات التي تم تحديدها في الدراسة الاستقصائية مرتبطة بالتعرض للإشعاعات الناتجة من الحادث، وهي على الارجح تدل على الحدوث الطبيعي لتشوهات الغدة الدرقية لدى الأطفال في هذه السن. وحدوث الإصابة بسرطان الغدة الدرقية لدى الأطفال هو أرجح أثر صحي ينشأ بعد وقوع حادث ينطوي على انبعاثات كبيرة من اليود المشع. ولأن الجرعات المفاد بأن الغدة الدرقية تلقتها المعزوة للحادث كانت منخفضة عموما فمن غير المرجح أن تحدث زيادة في سرطان الغدة الدرقية لدى الأطفال تعزى إلى وقوع الحادث. غير أنه تبقت أوجه عدم تيقن تتعلق بالجرعات المكافئة التي أصابت الغدة الدرقية لدى الأطفال فور وقوع الحادث.

ولم تلاحظ آثار إشعاعية سابقة للولادة، وليس من المتوقع أن تحدث، بالنظر إلى أن الجرعات المبلغ عنها أقل كثيرا من العتبة التي قد تحدث عندها هذه الآثار. ولم يبلغ عن حالات إنهاء حمل غير مرغوب فيها تعزى إلى الحالة الإشعاعية. وفيما يتعلق باحتمال أن يؤدي تعرض الوالدين إلى آثار وراثية في ذريتهم، خلصت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري إلى أنه، بصفة عامة، "على الرغم من أنه ثبت في

الدراسات الحيوانية طروء زيادة في نسبة حدوث الآثار الوراثية تعزى إلى التعرض للإشعاعات فإن هذه الزيادة لا يمكن في الوقت الحاضر أن تعزى إلى التعرض للإشعاعات لدى البشر"[167].

وتم الإبلاغ عن بعض الحالات النفسية بين السكان المتضررين من الحادث النووي. وبما أن عددا من هؤلاء الناس عانوا من الآثار المجتمعة لزلزال كبير وتسونامي مدمر فضلاً عن وقوع الحادث فمن الصعب تقييم مدى إمكانية أن تعزى هذه الآثار إلى وقوع الحادث النووي وحده. وتشير الدراسة الاستقصائية بشأن الصحة العقلية وأنماط الحياة، التي أُجريت في إطار الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما، إلى وجود مشاكل نفسية ذات صلة لدى بعض الفئات الهشة من السكان المتضررين، مثل حالات ازدياد القلق واضطراب التوتر التالي للصدمة. وقدَّرت اللجنة العلمية المذكورة ما يلي: "أمَّا الأثر الصحي الأهم [الناتج من الحادث] فهو ذلك الذي لحق بالرفاه الذهني والاجتماعي من جرّاء الأثر الهائل للزلزال والتسونامي والحادث النووي والخوف والوصم المتعلقين بالخطر المتصوَّر الذي ينطوي عليه التعرُّض للإشعاعات المؤيِّنة" [148].

ويُجرى حاليًا فحص طبي شامل للسكان المتضررين، في إطار الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما المبيَّنة في الإطار ٤-٢. ويهدف البرنامج إلى الكشف عن الأمراض وعلاجها في وقت مبكر، فضلاً عن الوقاية من الأمراض المتصلة بنمط الحياة. وتُجرى حاليًا اختبارات إضافية، مثل تعداد كريات الدم البيضاء التفريقي، بالإضافة إلى الفحوص الطبية العامة الروتينية التي تُجرى في مكان العمل أو تجريها الحكومة المحلية [220].

٤-٤-١- الآثار الصحية المبكرة المستحثة إشعاعيًا

يمكن أن يستحث التعرض للإشعاعات آثاراً صحية ناجمة عن قتل الخلايا. وتزيد شدة هذه الآثار مع ازدياد الجرعة، ويمكن أن تمتد من إصابات الجلد إلى انهيار الأنسجة الحيوية. ويحدث معظم هذه الآثار في وقت مبكر بعد تلقي جرعة أعلى من المستويات العتبية الحدية المعروفة لكل أثر محتمل. وتشير المعلومات المتاحة إلى أنه لم يتلق أي شخص جرعة عند هذه المستويات العتبية الحدية أو فوق هذه المستويات لكي تسبب آثاراً إشعاعية حادة نتيجة للحادث. وقد تعرض عاملان للإشعاعات على رجليهما من المياه الملوثة الصادرة عن قاعة التوربينات. وأفيد بأن الجرعات المكافئة الجلدية التي تلقاها هؤلاء العمال كانت أقل من العتبة التقديرية للآثار الحتمية[٩٧] [81] ومن الحدود الدولية المنطبقة[٩٨] [222].

---

[٩٧] تشير تقديرات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات بشأن التعرض الجلدي إلى أن رد الفعل المبكر، مثل الاحمرار الجلدي (حُمَامَى) المبكر العابر، يظهر بعد بضع ساعات من تلقي جرعات أكبر من ٢ ٠٠٠ ملّي غراي، عندما تكون المنطقة التي تعرضت كبيرة نسبيًا. وتقدِّر اللجنة الدولية المذكورة أيضا أن العتبات الحدّية التقريبية هي على النحو التالي: الاحمرار الجلدي المبكر العابر ٢ ٠٠٠ ملّي غراي، رد الفعل الحُمامي الرئيسي ٦ ٠٠٠ ملّي غراي، فقدان الشعر المؤقت ٣ ٠٠٠ ملّي غراي، فقدان الشعر الدائم ٧ ٠٠٠ ملّي غراي، التقشُّر الجلدي الجاف ١٤ ٠٠٠ ملّي غراي، التقشُّر الجلدي الرطب ١٨ ٠٠٠ ملّي غراي، التقرح الثانوي ٢٤ ٠٠٠ ملّي غراي، الاحمرار الجلدي المتأخر ١٥ ٠٠٠ ملّي غراي، النخر الجلدي الإقفاري ١٨ ٠٠٠ ملّي غراي، ضمور الجلد (المرحلة الأولى) ١٠ ٠٠٠ ملّي غراي، توسع الشعيرات ١٠ ٠٠٠ ملّي غراي، النخر الجلدي (المرحلة المتأخرة) أكثر من ١٥ ٠٠٠ ملّي غراي [221].

[٩٨] حد الجرعة المهني الموصى به فيما يتعلق بالجلد في حالات التعرض المخطط لها هو جرعة مكافئة قدرها ٥٠٠ ملّي سيفرت/سنة، في المتوسط على مساحة من الجلد قدرها ١ سم^{٢}، بغض النظر عن المنطقة المعرضة (انظر الجدول ٦ في المرجع [129] واللائحة الثالثة في المرجع [198]). والمعيار العام المقرر للجرعات الحادة التي تصيب الجلد، والتي يُتوقع أن يتم بشأنها الاضطلاع بالإجراءات الوقائية وإجراءات التصدي الأخرى تحت أي ظرف لتجنب أو تقليل الآثار القطعية العنيفة، هو ١٠ ٠٠٠ ملّي غراي تصيب مساحة قدرها ١٠٠ سم^{٢} من الأَدَمَة (أنسجة الجلد بعمق ٤٠ مغ/سم^{٢} (أو ٠,٤ مم) تحت السطح). (انظر الجدول الرابع-١ في المرجع. [198]).

وقد أشارت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري بالفعل إلى أنه "لم تُلاحظ أيُّ وفيات أو أمراض حادة ذات صلة بالإشعاعات في صفوف العاملين وعامة الجمهور ممن تعرُّضوا للإشعاعات الناجمة عن الحادث" [223].

٤-٤-٢- الآثار الصحية المتأخرة المستحثة إشعاعيًا المحتملة

في ظل الظروف القاسية وظروف الحادث، ومن بين نحو ٠٠٠ ٢٣ عامل شاركوا في عمليات الطوارئ، كان عدد الذين تجاوزوا جرعة قدرها ١٠٠ ملّي سيفرت ١٧٤ عاملاً. وخلصت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري إلى أنه لدى هذه الفئة من العمال "من المتوقع ارتفاع حالات الإصابة بالسرطان في صفوف هذه المجموعة في المستقبل. ومع ذلك، فليس من المتوقع حدوث زيادة يمكن تمييزها في الإصابة بالسرطان ضمن هذه المجموعة، بسبب صعوبة تأكيد هذا الحدوث الصغير بالنظر إلى التقلبات الإحصائية الطبيعية في حدوث السرطان" [223].

وفيما يتعلق بالآثار المتأخرة المحتملة بين أفراد الجمهور، نُشرت تقديرات دولية قبل صدور هذا التقرير (انظر الإطار ٤-١). فقد أصدرت منظمة الصحة العالمية تقديرًا[٩٩] افتراضيًا للمخاطر الإضافية الممتدة على مدى العمر والتي تزيد على معدلات خط الأساس للإصابة بسرطان الدم وسرطان الثدي وسرطان الغدة الدرقية وجميع السرطانات الصلبة بالنسبة للسكان في المواقع التي شهدت أعلى معدلات جرعات، واستندت المنظمة في هذا التقدير إلى التقديرات الأولية الصادرة عن المنظمة بشأن الجرعات[١٠٠] [146, 147].

وأفادت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، بعد تحديث تقديراتها للجرعات، بأن

> "الجرعات التي أصابت عامة الجمهور، سواء خلال السنة الأولى أو المقدرة على مدى الحياة، هي عمومًا منخفضة أو منخفضة جدًا. ولا يتوقع حدوث زيادة يمكن تمييزها في الآثار الصحية ذات الصلة بالإشعاعات على أفراد الجمهور أو ذريتهم" [223].

وكانت اللجنة العلمية المذكورة، قبل تقديم تقريرها عن الحادث، قد أبلغت الجمعية العامة للأمم المتحدة بأنه "لا يمكن بوجه عام الوثوق بإرجاع الزيادة في معدلات الآثار الصحية الملحوظة لدى مجموعات سكانية إلى تعرضها بصفة مزمنة إلى الإشعاعات بالمعدلات الاعتيادية للمتوسطات العالمية لمستويات التعرض الأساسية للإشعاعات" [167]. وتشير المعلومات المتاحة إلى أن أفراد الجمهور تلقوا جرعات سنوية ليست أعلى من

---

[٩٩] بالنظر إلى محدودية المعلومات المتوفرة في ذلك الحين، احتوى التقدير على عدد من الافتراضات المتحفظة. وقد أشارت منظمة الصحة العالمية إلى أنه "تم بذل كل جهد ممكن لتجنب أي بخس لتقدير الجرعات" وأنه "يمكن أن تكون قد حدثت بعض حالات المغالاة في تقدير الجرعات" [146].

[١٠٠] خلصت تقديرات منظمة الصحة العالمية للمخاطر الصحية إلى أنه "في أكثر موقعين تضررا في مقاطعة فوكوشيما تراوحت جرعات الإشعاع الفعالة المقدرة بصورة أولية في السنة الأولى بين ١٢ و٢٥ ملّي سيفرت"، وأنه على أساس هذه التقديرات، "في الموقع الذي سجلت فيه أعلى جرعات الإشعاع من المرجح أن المخاطر الإضافية المقدرة طيلة العمر فيما يتعلق بسرطان الدم وسرطان الثدي وسرطان الغدة الدرقية وكل السرطانات الصلبة، بما يتجاوز المعدلات المرجعية، تشكل الحد الأقصى للمخاطر، حيث أن الخيارات المنهجية اختيرت بعناية لتلافي بخس تقدير المخاطر. وفيما يتعلق بسرطان الدم، تشير النبوءات إلى أن مخاطر الإصابة به طيلة العمر سترتفع عن المعدلات المرجعية للإصابة به بنسبة تصل إلى ٧٪ تقريبا بين الذكور الذين تعرضوا للإشعاع عندما كانوا رضعا؛ وفيما يتعلق بسرطان الثدي فإن مخاطر الإصابة به ترتفع عن المعدلات المرجعية بنسبة تصل إلى ٦٪ تقريبا بين الإناث اللائي تعرضن للإشعاع عندما كن رضيعات، وفيما يتعلق بجميع السرطانات الصلبة فإن المخاطر المقدرة طيلة العمر ترتفع عن المعدلات المرجعية بنسبة ٤٪ تقريبًا بين الإناث اللائي تعرضن للإشعاع وهن رضيعات، وفيما يتعلق بسرطان الغدة الدرقية فإن المخاطر المقدرة طيلة العمر ترتفع عن المعدلات المرجعية بنسبة ٧٠٪ تقريبا بين الإناث اللائي تعرضن للإشعاع وهن رضيعات. وتشكل هذه النسب المئوية زيادات نسبية مقدرة على المعدلات المرجعية، وليست مخاطر مطلقة للإصابة بهذه السرطانات" [147].

الجرعات السنوية الراجعة إلى المستويات النمطية لإشعاعات الخلفية الطبيعية. ويشير ذلك إلى أنه ليس من المتوقع أن تكون هناك زيادة يمكن تمييزها في حدوث الآثار الصحية ذات الصلة بالإشعاعات بين أفراد الجمهور الذين تعرضوا للإشعاعات أو ذريتهم، ويتفق ذلك مع تقديرات لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري.

وينطبق هذا التقدير أيضًا بصفة عامة على الحالة الخاصة المتعلقة بسرطان الغدة الدرقية لدى البالغين. فهذا الخطر أقل كثيرا جدا في حياة الكبار من الخطر الناتج من التعرض للإشعاعات في مرحلة الطفولة (انظر المناقشة الواردة أدناه للآثار التي تصيب الغدة الدرقية لدى الأطفال). وبالنظر إلى الجرعات الإشعاعية المكافئة المبلغ بأنها أصابت الغدة الدرقية فمن غير المرجح أن تكون هناك زيادة يمكن تمييزها في سرطانات الغدة الدرقية بين السكان البالغين.

وبالنسبة للعدد القليل من العمال الذين تلقوا جرعات مكافئة عالية في الغدة الدرقية (انظر القسم ٤-٣-٢)، أمكن الاستدلال على ازدياد خطر الإصابة باضطرابات الغدة الدرقية. فمستويات الجرعة المكافئة هذه التي تلقتها الغدة الدرقية يمكن أن تخفض وظيفة هذه الغدة إلى حد أن تؤدي إلى الإصابة بقصور الغدة الدرقية. وليس من المتوقع أن تحدث إصابة بقصور الغدة الدرقية، لأن الجرعات المكافئة المبلّغ بأن الغدة الدرقية تلقتها أقل من المستوى البالغ حوالي ٠٠٠ ١٥ ملّي سيفرت الذي يمكن أن تحدث هذه الآثار عند تجاوزه. ويصعب التقدير الكمي لآثار الجرعات المنخفضة والمتوسطة التي تتلقاها الغدة الدرقية، والتي تنجم عادة من نطاق الجرعات التي أصابت عمال الطوارئ، ولا يزال احتمال حدوث الآثار وحجمها غير واضحين.

٤-٤-٣- الآثار الإشعاعية على الأطفال

يمثل احتمال حدوث آثار إشعاعية على الأطفال مسألة تثير قلقًا خاصًا. وتضع التوصيات والمعايير الدولية للوقاية من الإشعاعات في اعتبارها الأطفال الذين يوجدون في مجموعة من السكان تتعرض للإشعاعات. ولأغراض الوقاية من الإشعاعات، تفترض هذه التوصيات والمعايير وجود خطر إشعاعي اسمي محتمل على المجموعة السكانية بكاملها، أي المجموعة السكانية بما فيها الأطفال[١٠١]، أعلى بحوالي ٣٠٪ من الخطر المفترض على السكان البالغين (تم تقدير هذه المخاطر الاسمية على أساس دراسات وبائية بشأن السكان المعرضين لجرعات إشعاعية عالية) [129, 224].

الآثار على الغدة الدرقية لدى الأطفال

الأطفال أكثر حساسية للإشعاعات من البالغين فيما يخص سرطان الغدة الدرقية. ففي حالة الأخذ الداخلي لكمية معينة من اليود المشع، تعادل الجرعة التي تصيب الغدة الدرقية للرضع ثمانية أو تسعة أضعاف الجرعة التي تصيب الغدة الدرقية للبالغين. ويمكن أن يؤدي وجود كمية كبيرة من اليود-١٣١ في البيئة إلى إصابة الأطفال بسرطان الغدة الدرقية. والمعدل العادي للإصابة ببعض أنواع سرطان الغدة الدرقية لدى الأطفال منخفض، وحساسية الغدد الدرقية للأطفال للإشعاعات عالية. وبسبب هذه الحساسية الأعلى، كان من المهم في أعقاب وقوع الحادث إجراء فحص متابعة من أجل الكشف في وقت مبكر عن أي زيادة محتملة في معدل حدوث الإصابة بهذا النوع من السرطان [225].

---

[١٠١] تشمل عبارة 'أطفال' الرضع والأطفال والمراهقين المعرّضين.

وقد أُبلغ عن نتائج ثلاث سنوات من عمليات فحص الغدة الدرقية بالموجات فوق الصوتية التي أجريت في إطار الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما [226]. وشمل الفحص نحو ٣٧٠ ٠٠٠ طفل كانوا في سن صفر إلى ١٨ عامًا في وقت وقوع الحادث. وتُجرى عقب هذا الفحص الأوَّلي فحوص كاملة للغدة الدرقية ابتداء من عام ٢٠١٤ فصاعدًا، وسيتم رصد المقيمين رصدًا منتظمًا في السنوات اللاحقة.

وتُستخدم في الفحوص معدات حساسة للغاية للتصوير بالموجات فوق الصوتية لفحص الغدة الدرقية. وقد كشف الفحص عن حالات من تشوه الغدة الدرقية العديم الأعراض[١٠٢] – أي عُقيدات وخُرَّاجات وسرطانات – كان من شأنها أن لا تكتشف لو كان فحص الأطفال الخالين من الأعراض قد تم باستخدام المعدات المعتادة. وتم الحصول على نتائج مماثلة عند إجراء نفس الفحص على أطفال يعيشون بعيدًا جدًا عن المناطق المتضررة من الحادث [227]. وفترة كمون سرطان الغدة الدرقية المستحث إشعاعيًا أطول من السنوات الأربع التي انقضت منذ وقوع الحادث، في وقت كتابة هذا التقرير. وفي كثير من الحالات، تبين وجود سرطانات الغدة الدرقية لدى أطفال في سنوات المراهقة المتأخرة، ولكن لم يتبين وجود أي حالات منها في أكثر فئة هشاشة من الأطفال، وهم الذين كانت سنهم أقل من خمس سنوات في ١١ آذار/مارس ٢٠١١. وكانت نسبة الحالات المريبة أو الخبيثة هي نفس النسبة تقريبًا في مناطق محافظة فوكوشيما في الفحص الأولي الذي أجري في الفترة ٢٠١١-٢٠١٣ [228]. وتوحي هذه العوامل بأن تشوهات الغدة الدرقية التي تم الكشف عنها في الدراسة الاستقصائية ليس من المرجح أن تكون مرتبطة بالتعرض للإشعاعات بسبب الحادث.

وعلى أساس البيانات المتاحة عن القياسات غير المباشرة للجرعة المكافئة الخارجية الناجمة عن النشاط الإشعاعي في الغدة الدرقية (انظر الشكل ٤-١٠)، يبدو أن الجرعات المكافئة التي أصابت الغدة الدرقية لدى الأطفال كانت منخفضة. وفيما يخص مستويات الجرعات المبلغ عنها، ليس من شأن الزيادات في سرطان الغدة الدرقية لدى الأطفال أن تعزى إلى التعرض للإشعاعات.

٤-٤-٤- الآثار الصحية المستحثة إشعاعيًا السابقة للولادة

عبارة 'أثر التعرض السابق للولادة (أو قبل الولادة)' هي المصطلح المستخدم للإشارة إلى آثار الإشعاعات على المضغة والجنين. وعند الجرعات الممتصة الأقل من ١٠٠ ملّي غراي، تعتبر الآثار المميتة الناجمة عن التشعيع في فترة التطور الجنيني السابقة لانغراس الجنين نادرة جدا، وهناك عتبة للجرعة الممتصة قدرها حوالي ١٠٠ ملّي غراي لاستحثاث الآثار الأخرى [231–229]. وكانت الجرعات الممتصة إلى المضغة والجنين التي يمكن أن تعزى إلى وقوع الحادث أقل كثيرا من عتبة الجرعة الممتصة لحدوث هذه الآثار.

وساعدت الدراسة الاستقصائية عن الحمل التي أُجريت ضمن الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما (انظر الإطار ٤-٢) على توفير الرعاية والدعم الطبيين المناسبين للأمهات اللائي تم منحهن كتيب صحة الأم والطفل بين ١ آب/أغسطس ٢٠١٠ و٣١ تموز/يوليه ٢٠١١، ولأطفالهن. ويتم تحديث هذه الدراسة الاستقصائية في كل سنة لمراعاة البيانات الجديدة، ولا سيما البيانات عن الحمل وحالات الولادة [162]. وكان الهدف هو جمع بيانات يمكن أن تؤدي إلى تحسين الرعاية التوليدية والسابقة للولادة ودعم النساء اللائي كن حوامل أو أنجبن في محافظة فوكوشيما عقب الحادث. واستنادا إلى نتائج المسح، لم تكن هناك نتائج سلبية كبيرة، وتبيَّن أن معدلات حدوث حالات ولادة أجنة ميتة والولادة المبكرة وانخفاض وزن الأجنة عند الولادة والتشوهات الخلقية للأجنة كانت مماثلة لتلك السائدة في الأماكن الأخرى في اليابان [232].

---

[١٠٢] الآثار العديمة الأعراض هي تلك التي لا تسبب أي أعراض، أي لا تسبب أي شيء يشير إلى وجود حالة مرضية، وعلى الخصوص أي شيء يظهر للأطفال أو لآبائهم وأمهاتهم أو حتى للأطباء.

وقد أبلغت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري الجمعية العامة للأمم المتحدة بأنه "رغم ما أظهرته الدراسات التي أجريت على الحيوانات من شواهد، فإنَّ من المتعذر في الوقت الراهن أن تعزى الزيادة في الآثار الوراثية في المجموعات السكانية البشرية إلى التعرُّض للإشعاعات" [167]. ولذلك تشير الاستنباطات الواردة في هذا التقرير إلى أنه لن يكون بالوسع عزو أي آثار وراثية إلى وقوع الحادث.

وفي أعقاب وقوع حوادث تنطوي على احتمال كبير للتعرض للإشعاعات، تلتمس بعض النساء الحوامل المشورة الطبية حول ما إن كان ينبغي أو لا ينبغي إنهاء حملهن. وفي حالة حادث فوكوشيما دايتشي، أفادت دراسة أعدتها شعبة أمراض النساء والتوليد بجامعة فوكوشيما الطبية بأنه لم يتم في أعقاب الحادث إجراء مثل حالات الإنهاء الاختياري للحمل هذه [232, 233].

٤-٤-٥- الآثار النفسية

على الرغم من أن الآثار النفسية لا يمكن أن تُعزى مباشرة إلى التعرض للإشعاعات فقد جرى النظر فيها في هذا التقرير. وقد أفادت لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري بما يلي:

> "...أمَّا الأثر الصحي الأهم فهو ذلك الذي لحق بالرفاه الذهني والاجتماعي من جرّاء التأثير الهائل للزلزال والتسونامي والحادث النووي والخوف والوصم المتعلقين بالخطر المتصوَّر الذي ينطوي عليه التعرُّض للإشعاعات المؤيِّنة. وقد أُبلغ بالفعل عن آثار من قبيل الاكتئاب وأعراض الإجهاد اللاحق للصدمة." [148]

وقد أُجري عدد من الدراسات عن الظروف النفسية التي سادت في أعقاب حادث فوكوشيما دايتشي. وركزت هذه الدراسات عمومًا على الحوامل وأمهات الرضع وعمال الإنقاذ والتنظيف ومن تم إجلاؤهم. وتم الكشف عن بعض الآثار النفسية بين السكان المتضررين [244–234][١٠٣]. ووفقًا لهذه الدراسات، ساهمت الاتصالات وتعميم المعلومات الدقيقة على الجمهور في مرحلة مبكرة وأثناء تطور الحادث في التخفيف من حدة ردود الفعل النفسية غير المرغوب فيها [150].

وأكبر دراسة من هذه الدراسات هي الدراسة الاستقصائية عن الصحة العقلية ونمط الحياة التي أُجريت ضمن الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما [248]، والتي تهدف إلى توفير الرعاية المناسبة وذلك أساسًا لمن تم اجلاؤهم المعرضين بقدر أكبر لخطر الإصابة بمشاكل صحة عقلية مثل اضطراب التوتر التالي للصدمة، والقلق، والتوتر. وتضمنت الاستبيانات قياسات معتادة لأعراض اضطراب التوتر التالي للصدمة، والضيق النفسي (القلق)، كما تضمنت أسئلة عن المخاوف بشأن التعرض للإشعاعات والمحن الناجمة عن الزلزال والتسونامي (مثل فقدان أفراد الأسرة أو الأقارب، والأضرار التي لحقت المنازل، وفقدان فرص العمل، وانخفاض الدخل، والانتقال داخل محافظة فوكوشيما أو خارجها).

وقد نُشرت نتائج الدراسة الاستقصائية عن الصحة العقلية ونمط الحياة [236]. وأكدت النتائج أن السكان المتضررين عايشوا قدر كبير من الضيق وأعراض اضطراب التوتر التالي للصدمة. وأشارت هذه الدراسة الاستقصائية إلى أن "البيانات الاجتماعية الديموغرافية أظهرت أن العديد من الأسر التي تم إجلاؤها انفصل

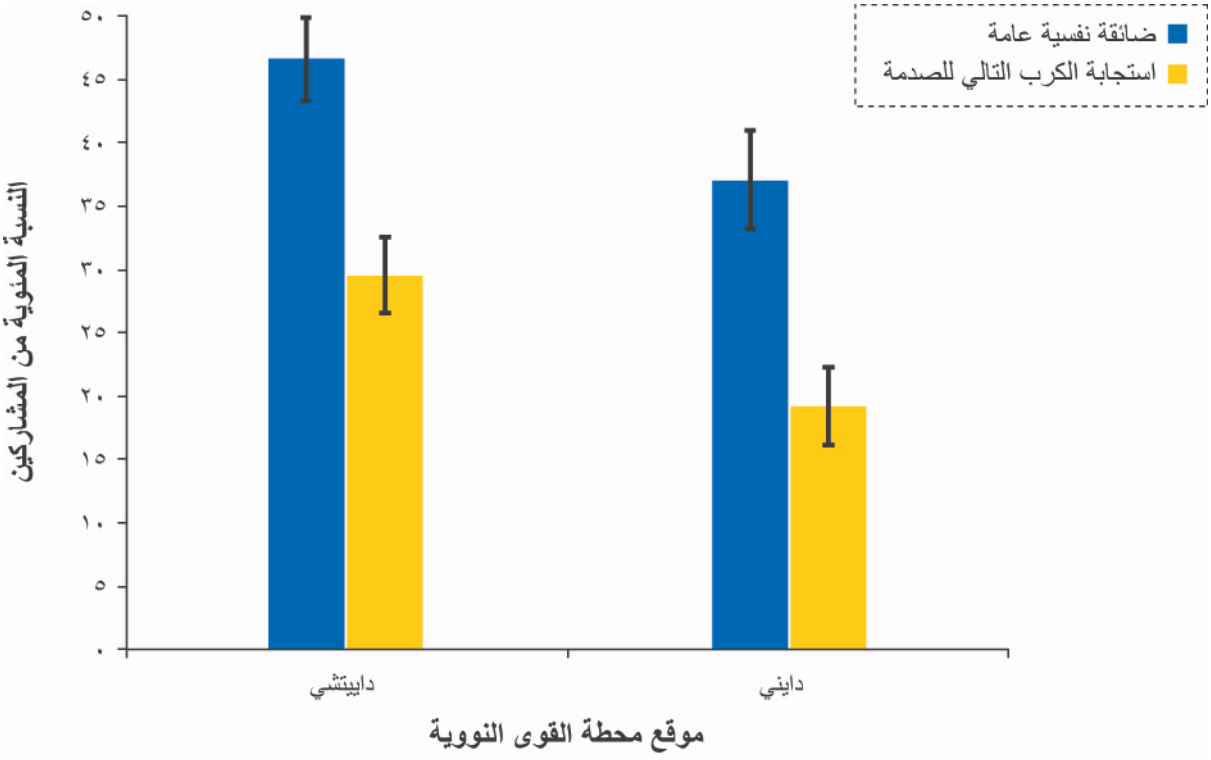
---

[١٠٣] تم الكشف عن آثار نفسية في أحوال صدمة أخرى، يمكن أن تشمل الاكتئاب، واستجابات التوتر التالي للصدمة، والقلق المزمن، واضطراب النوم، والصداع الشديد، وازدياد التدخين وتعاطي الكحول، فضلاً عن السلوك المختل من قبيل الغضب الشديد واليأس والقلق البالغ على الصحة ومشاعر وصمة العار والتمييز. وكما تبين بعد حوادث سابقة، مثل حادث تشرنوبيل، فإن غالبية الأشخاص المتضررين يصمدون عموما للظروف النفسية، ولكن أُبلغ عن استثناءات في عدد من الدراسات [247–245, 169].

بعض أعضائها عن البعض بعد وقوع الكارثة، وتعيّن عليها أن تنتقل عدة مرات"، بما يوحي بأن هذا كان أحد أسباب الحالات النفسية.

وقد استُخدمت طريقتان أخريان لتقييم حالة الصحة العقلية للبالغين الذين تم إجلاؤهم، [249, 250] وأُجريت دراسة استقصائية إضافية لتقييم مدى إدمان الكحول [251]. وأشارت هذه الدراسات الاستقصائية إلى أن الأعراض الصحية العقلية كانت أسوأ كثيرا مما كان من شأنه أن يُتوقع من الدراسات الاستقصائية لعامة السكان، [237]. وتم تقييم الحالة الصحية العقلية للأطفال باستخدام نهج استبياني آخر [252, 253]، ويوحي التقييم بوجود بعض الصعوبات النفسية لدى الأطفال الذين شملتهم الدراسة الاستقصائية، ولكن مع تحسّن نسبي عاما بعد عام.

وأجريت دراسات أيضاً بشأن العمال المتضررين. وقارنت دراسة بين العاملين في محطتي القوى النووية فوكوشيما داييتشي وفوكوشيما داييني في الفترة من نيسان/أبريل إلى حزيران/يونيه ٢٠١١، فتوصلت إلى وجود أعراض أكثر كثيرًا للتوتر النفسي العام واستجابات الكرب التالي للصدمة بين عمال محطة فوكوشيما داييتشي (انظر الشكل ٤-١٤). وكانت هناك أيضا في كل من فئتي العمال ارتباطات ذات دلالة إحصائية بين معايشة التمييز والوصمات من ناحية وأعراض هاتين الحالتين النفسيتين من الناحية الأخرى.



الشكل ٤-١٤- النسبة المئوية للعاملين في محطتي فوكوشيما داييتشي وفوكوشيما داييني للقوى النووية الذين أبلغوا عن معاناة نفسية، نيسان/أبريل ٢٠١١ [242].

٤-٥- العواقب الإشعاعية على الكائنات الحية غير البشرية

لم يُبلغ عن أية ملاحظات لآثار مباشرة مستحثة إشعاعيا في النباتات والحيوانات، على الرغم من أن دراسات رصدية محدودة أجريت في الفترة التي تلت وقوع الحادث مباشرة. وهناك محدوديات في المنهجيات المتاحة لتقييم العواقب الإشعاعية ولكن، على أساس الخبرة السابقة ومستويات النويدات المشعة الموجودة في البيئة، من غير المحتمل أن تكون هناك أي عواقب إشعاعية كبيرة في مجموعات الكائنات الحية أو النظم الإيكولوجية نتيجة للحادث.

وتشمل حماية البيئة[١٠٤] "حماية وصيانة ما يلي: الكائنات غير البشرية، حيوانية كانت أم نباتية، وتنوعها الأحيائي؛ والسلع والخدمات البيئية". ويشمل المصطلح أيضًا "إنتاج الأغذية والأعلاف؛ والموارد المستخدمة في الزراعة، والغابات، والثروة السمكية، والسياحة؛ ووسائل الراحة المستخدمة في الأنشطة الروحانية والثقافية والترفيهية؛ والأوساط الأخرى مثل التربة والماء والهواء؛ والعمليات الطبيعية مثل دورات الكربون والنتروجين والماء" [198]. وقد سبب الزلزال والتسونامي ضغطًا بيئيًا كبيرًا على البيئتين الأرضية والبحرية على امتداد الساحل الشمالي الشرقي لجزيرة هونشو [254, 255].[١٠٥]

وقد كانت الأولوية المباشرة عقب وقوع الحادث هي حماية الناس وليس الأنواع الموجودة في البيئة، التي لا تسهل السيطرة على تعرضها. وعلى الرغم من أنه تم إجلاء المقيمين داخل دائرة شعاعها ٢٠ كم من المحطة بغية الحد من تعرضهم للإشعاعات فإن تعرض الكائنات غير البشرية التي تسكن هذه المناطق كان لا يمكن تجنبه. وكانت النهُج المستخدمة في هذا التقرير لتقييم الأثر الإشعاعي على الكائنات غير البشرية الذي يمكن أن يترتب على وقوع الحادث هي تلك التي أوصت بها اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات [224, 257]. وأُجريت بعد ذلك مقارنة بين التعرض التقديري والمعلومات المنشورة في المؤلفات عن أثر مثل حالات التعرض هذه على الأنواع المختلفة من النباتات والحيوانات (انظر المرجعين [258, 259]).

وأوجه عدم التيقن العامة المرتبطة بأنواع النماذج المطبقة في هذا التقييم كبيرة، وبخاصة عندما تكون هناك افتراضات بشأن عمليات الانتقال البيئية [260]. وتميل منهجيات التقييم هذه الى ان تكون مبنية على افتراضات بسيطة، وتؤخذ أوجه عدم التيقن عادة في الاعتبار من خلال استخدام افتراضات متحفظة. كما أن المعايير المستخدمة للربط بين الجرعات المحسوبة والآثار الاشعاعية تتعلق أساسا بالتعرض المزمن وليس بالتعرض الحاد، وبمجموعة محدودة من الكائنات الحية المنفردة وليس بالمجموعات السكانية أو النظم الإيكولوجية. ولا تضع المنهجيات الحالية في الاعتبار التفاعلات بين مكونات النظم الإيكولوجية أو التأثير المشترك للإشعاعات والعوامل الضاغطة البيئية الأخرى. وهناك حاجة لإدخال تحسينات على منهجيات التقييم وعلى فهم الآثار المستحثة بالإشعاعات على النظم الإيكولوجية.

وكانت أعلى الجرعات الممتصة التقديرية التي أصابت النباتات هي التي حدثت خلال الأسابيع الأولى بعد وقوع الحادث، لكنها ظلت دون المستويات التي من شأنها أن يُتوقع عندها حدوث الآثار الحادة. وتم تجاوز المستويات المرجعية ذات الصلة في حالة بعض الكائنات البرية المرجعية (مثل الصنوبر والعشب والغزلان والجرذان) في المرحلة المبكرة بعد وقوع الحادث. غير أنه لم يُلاحظ تأثير عام على مجموعات هذه الكائنات أو على النظم الإيكولوجية.

وذكرت منشورات سابقة صادرة عن لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري [261, 262] أن ضررًا طفيفًا يمكن أن يحدث في الصنوبريات عند جرعات أقل من ١,٢ غراي، في حين يمكن أن يحدث ضرر أكثر خطورة، يؤدي إلى الموت، عند جرعات في النطاق ١٠-٢٠ غراي. ويمكن أن يُستنتج من الجرعات التقديرية أنه لا يحتمل أن تحدث أي آثار مهلكة مباشرة على العشب البري، لأنه أكثر مقاومة للإشعاعات. وبالنسبة للحيوانات البرية، دلت معدلات الجرعة التقديرية في المرحلة المبكرة على أنه يوجد احتمال ضعيف بحدوث اضطرابات إنجابية.

---

[١٠٤] في هذا التقرير، يشير مصطلح "البيئة" إلى 'الظروف التي يعيش فيها الإنسان والحيوان والنبات أو ينمو فيها، والتي تحافظ على كل ظروف الحياة والنمو، لا سيما الظروف التي تؤثر فيها الأنشطة البشرية' [198].

[١٠٥] يمكن الاطلاع على تقارير أخرى عن آثار التسونامي على النظم الإيكولوجية في المرجع [256].

وعلى الرغم من أن معدلات الجرعة تجاوزت بعض القيم المرجعية في المراحل الأولى من الحادث فلا يتوقع أي تأثير على مجموعات الحيوانات والنباتات والنظم الإيكولوجية. وليس من المتوقع أيضا حدوث آثار طويلة الأمد، بالنظر إلى أن الجرعات التقديرية على المدى القصير كانت عمومًا أقل كثيرًا من المستويات التي يمكن أن يتوقع فيها حدوث آثار حادة شديدة الضرر، وأن معدلات الجرعة انخفضت بسرعة نسبيًا بعد وقوع الحادث.

٤-٦- الملاحظات والدروس

تم تجميع عدد من الملاحظات والدروس نتيجة لتقييم العواقب الإشعاعية للحادث.

— **في حال حدوث انبعاث عارض لمواد مشعة إلى البيئة، يلزم القيام دون تأخير بإجراء تقدير كمي لكمية وتركيبة الانبعاث وتحديد خصائصه . وبالنسبة للانبعاثات الكبيرة، يلزم برنامج شامل ومنسق للرصد البيئي الطويل الأمد لتحديد طبيعة ومدى الأثر الإشعاعي على البيئة على المستوى المحلي والإقليمي والعالمي.**

وقد تبيَّن أن التقدير الكمي وتحديد الخصائص لحد الإفلات الخاص بالحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية كان صعبا. ويوفر الرصد الفوري للبيئة تأكيدًا لمستويات النويدات المشعة ويضع الأساس الأوَّلي لوقاية الناس. ويمكن أن تُستخدم نتائجه لإعلام الجمهور ولوضع استراتيجيات لأنشطة التصدي والتعافي. ومن المهم أيضا مواصلة الرصد البيئي من أجل التحقق من أنه لا يوجد مزيد من الانبعاثات الكبيرة للنويدات المشعة ومن أجل توفير المعلومات لصناع القرار وأصحاب المصلحة الآخرين عن التوزيع المحتمل للنويدات المشعة في البيئة مع مرور الزمن.

— **يلزم أن تضع الهيئات الدولية ذات الصلة شروحا لمبادئ ومعايير الوقاية من الإشعاعات تكون مفهومة لغير المتخصصين، بغية جعل تطبيقها أكثر وضوحا لمتخذي القرارات وللجمهور. وبما أن بعض تدابير الوقاية الطويلة الأمد أحدثت إخلالا للمتضررين فتلزم استراتيجية اتصال أفضل لإيصال مبررات هذه التدابير والإجراءات إلى جميع أصحاب المصلحة، بما يشمل الجمهور.**

وهناك حاجة مُعترف بها إلى شروح بسيطة لعدد من مسائل الوقاية من الإشعاعات، بما في ذلك ما يلي:

- الاختلافات بين مفهوم حدود الجرعات ومفهوم المستويات المرجعية، والمبرر المتصل بذلك.
- المعايير المستخدمة في تبرير التدابير والإجراءات الوقائية الرامية إلى تجنب حدوث الجرعات الإشعاعية على المدى الطويل، وبخاصة عندما تنطوي على إخلالات كبيرة بالحياة العادية.
- الأحوال المحددة المتعلقة بوقاية العاملين من الإشعاعات في حالات الطوارئ.

ولا تستند مبادئ الوقاية من الإشعاعات إلى العلوم وحدها، بل تستند أيضًا إلى أحكام قيمية مرتكزة على المبادئ الأخلاقية. وفي بعض الظروف، تنطوي التدابير والإجراءات الوقائية على إخلال اجتماعي طويل الأمد. وفي ظل هذه الظروف، يجب أن تكون الفائدة المرجوة من تجنب الجرعات الإشعاعية أكبر من الضرر الفردي والاجتماعي الناجم عن التدابير والإجراءات الوقائية نفسها. ومن المهم أن يُقدَّم لأصحاب المصلحة شرح لمبررات التدابير والإجراءات الطويلة الأمد للوقاية من الإشعاعات.

— **أدت القرارات المتحفظة المتعلقة بالنشاط النوعي وتركيزات النشاط في المنتجات الاستهلاكية ونشاط الترسيب إلى فرض قيود طويلة الأمد وإلى صعوبات مرتبطة بذلك. وفي حال حدوث تعرض طويل الأمد، يكون الاتساق فيما بين المعايير الدولية، وبين المعايير الدولية والمعايير الوطنية، مفيدا، لا سيما المعايير المرتبطة بمياه الشرب والأغذية والمنتجات الاستهلاكية غير المأكولة ونشاط الترسيب على الأرض.**

وقد وضعت السلطات اليابانية تدابير لمراقبة وجود المواد المشعة في المنتجات الاستهلاكية، وكانت تلك التدابير عمومًا أكثر صرامة من الإرشادات الدولية المتاحة. ويخضع النظام الدولي الحالي لمراقبة النشاط

الإشعاعي في المنتجات الاستهلاكية لإرشادات قائمة بذاتها، منها مثلاً الدستور الغذائي بشأن الأغذية في التجارة الدولية (بما يشمل المياه المعبأة في زجاجات)، ومعايير الأمان الصادرة عن الوكالة بشأن الأغذية ومياه الشرب للاستخدام في حالات الطوارئ، والمبادئ التوجيهية لمنظمة الصحة العالمية بشأن مياه الشرب في حالات التعرض القائمة، ومعايير الأمان الصادرة عن الوكالة بشأن المنتجات غير المأكولة، لأغراض الإعفاء. وهناك حاجة للاتساق في المعايير الدولية بشأن المستويات المقبولة من النشاط الإشعاعي في المنتجات الخاصة بالاستهلاك العام، بغية تسهيل تطبيق هذه المستويات من قبل الهيئات الرقابية وفهمها من قبل الجمهور. ويتعين أن تكون المعايير الوطنية متوافقة مع المعايير الدولية، حيثما يكون ذلك ممكنا. وعلاوة على ذلك، ثمة حاجة إلى معايير للتعامل مع الوجود الطويل الأمد للنويدات المشعة على الأراضي.

— **يوفر إجراء الرصد الفردي للإشعاعات على مجموعات تمثيلية من أفراد الجمهور معلومات قيّمة للتقديرات الموثوقة للجرعات الإشعاعية، ويلزم استخدامه جنبًا إلى جنب مع القياسات البيئية والنماذج المناسبة الخاصة بتقدير الجرعات بغية تقدير الجرعة التي تصيب الجمهور.**

وقد استند التقدير المبكر للجرعات إلى القياسات البيئية والنمذجة، فأدى إلى بعض الافتراضات المتحفظة بشأن الجرعات المتلقاة والمتوقعة.

ويلزم القيام بالرصد الشخصي لليود-١٣١ في الغدة الدرقية للأطفال في أقرب وقت ممكن عقب انبعاثات اليود المشع إلى البيئة، وذلك بسبب قصر العمر النصفي لهذه النويدة المشعة. ويلزم الاضطلاع في أقرب وقت ممكن بالرصد الفردي للإشعاعات الخارجية والوجود الداخلي للنويدات المشعة طويلة العمر (مثلاً السيزيوم-١٣٧)، وأن يستمر هذا الرصد حسب الاقتضاء مع مرور الزمن.

وفي غياب القياسات الفردية للإشعاعات، قد تلزم نمذجة البيانات البيئية وبيانات البيئة المحيطة من أجل تقدير الجرعات الإشعاعية التي تصيب الأفراد. وفي هذه الحالات، يلزم شرح أوجه عدم التيقن المرتبطة بالافتراضات المستخدمة في النماذج شرحًا واضحًا، وبخاصة إذا كانت النتائج تُستخدم للاستنارة بها في اتخاذ القرارات بشأن التدابير والإجراءات الوقائية أو لتقدير احتمال وقوع الآثار الصحية المستحثة بالإشعاعات.

— **في حين لم تكن منتجات الألبان هي المسارات الرئيسية لابتلاع اليود المشع في اليابان، فمن الواضح أن أهم طريقة للحد من الجرعات التي تصيب الغدة الدرقية، ولا سيما لدى الأطفال، هي الحد من استهلاك الحليب الطازج الناتج من أبقار المراعي.**

وكانت تقديرات الجرعات التي أصابت الغدة الدرقية لدى الأطفال في أعقاب الحادث منخفضة. ونتج ذلك من عوامل مجتمعة، منها موسم السنة (قبل موسم الزراعة)، والممارسات الزراعية المتبعة في اليابان، واستهلاك الرضع المنخفض لحليب البقر، والضوابط التي طُبقت على الفور على استهلاك الحليب. وساهمت هذه العوامل في المستوى المنخفض للأخذ الداخلي لليود-١٣١.

— **يلزم نظام متين لرصد وتسجيل الجرعات الإشعاعية المهنية، المتلقاة عبر جميع المسارات ذات الصلة، ولا سيما الجرعات الناتجة من التعرض الداخلي التي يمكن أن تصيب العمال خلال الاضطلاع بأنشطة التصدي للحوادث العنيفة. ومن الضروري أن تكون معدات الوقاية الشخصية المناسبة والكافية متاحة من أجل الحد من تعرض العمال خلال أنشطة التصدي للطوارئ، وأن يتم تدريب العمال تدريبا كافيا على استخدامها.**

وإجراء القياسات المباشرة المبكرة والمستمرة للتعرض للإشعاعات ولمستويات النويدات المشعة التي تندمج في أجساد عمال الطوارئ هو أقيم نهج للحصول على المعلومات اللازمة لتقدير المخاطر الإشعاعية والآثار الصحية المحتملة ولتحقيق الوقاية المثلى. وهناك حاجة لرصد وتسجيل الجرعات

الإشعاعية المهنية من خلال نظام متين مؤلف من مقاييس الجرعات الشخصية وقياساتها. ويلزم الاضطلاع في أقرب وقت ممكن برصد اليود-١٣١ في الغدة الدرقية.

وعقب حادث فوكوشيما دايتشي مباشرة، كان توفير المعدات الواقية الشخصية من أجل الحد من تعرض العمال ومن أجل الرصد صعبًا.

— **يلزم أن تُعرض عرضًا واضحًا على أصحاب المصلحة مخاطر التعرض للإشعاعات وعزو الآثار الصحية للإشعاعات، بحيث يكون واضحا بما لا لبس فيه أن أي زيادات في معدلات حدوث الآثار الصحية لدى السكان لا يمكن أن تعزى إلى التعرض للإشعاعات إذا كانت مستويات التعرض مماثلة للمتوسط العالمي لمستويات إشعاعات الخلفية الطبيعية.**

وفي حالة حادث فوكوشيما دايتشي، كانت الجرعات التي أصابت أفراد الجمهور منخفضة، ومشابهة للمتوسط العالمي النمطي لإشعاعات الخلفية الطبيعية. وهناك حاجة لإبلاغ الجمهور بصورة واضحة، وخصوصا المتضررين، بأنه ليس من المتوقع أن تطرأ نتيجة للحادث زيادة يمكن تمييزها في حدوث الآثار الصحية المتصلة بالإشعاعات بين أفراد الجمهور المتعرضين وذريتهم.

وفهم الإشعاعات وآثارها الصحية الممكنة مهم لجميع المعنيين بحالة الطوارئ، ولا سيما للأطباء والممرضات وتقنيي الأشعة وطلائع المتصدين الطبيين. ويلزم ضمان ذلك من خلال توفير التعليم والتدريب المناسبين للأخصائيين الهنيين الطبيين في مواضيع النشاط الإشعاعي والإشعاعات والآثار الصحية المرتبطة بالتعرض للإشعاعات.

— **إجراء الدراسات الاستقصائية الصحية مهم ومفيد جدا بعد وقوع حادث نووي، ولكن لا ينبغي أن تُفسر هذه الدراسات على أنها دراسات وبائية. فالمقصود من نتائج هذه الدراسات الاستقصائية الصحية هو أن توفر معلومات لدعم تقديم المساعدة الطبية للسكان المتضررين.**

وتوفر الدراسة الاستقصائية بشأن إدارة الشؤون الصحية في فوكوشيما معلومات صحية قيّمة للمجتمع المحلي، تساعد على ضمان الكشف السريع عن أي آثار صحية واتخاذ الإجراءات المناسبة لحماية صحة السكان. ويمكن أن توفِّر النتائج العامة للفحوص الصحية معلومات هامة، ولكن لا ينبغي أن تفسر نتائجها تفسيرًا خاطئًا بأنها نتائج تقييم وبائي.

— **تدعو الحاجة إلى إرشادات بشأن الوقاية من الإشعاعات، من أجل التصدي للعواقب النفسية التي تصيب أفراد المجموعات السكانية المتضررة في أعقاب الحوادث الإشعاعية. وقد أوصى فريق مهام تابع للجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات بأنه ينبغي "السعي إلى إيجاد استراتيجيات للتخفيف من الآثار النفسية الخطيرة الناجمة عن الحوادث الإشعاعية" [149].**

وقد أُبلغ عن حدوث حالات نفسية نتيجة للحادث. وهذا موضوع متكرر في أعقاب الحوادث المنطوية على التعرض للإشعاعات. وعلى الرغم من أهمية هذه العواقب، لم يتم التسليم بها في التوصيات والمعايير الدولية بشأن الوقاية من الإشعاعات.

— **يلزم إبلاغ الأفراد الموجودين في المناطق المتضررة بالمعلومات المستندة إلى الحقائق عن آثار الإشعاعات، بطريقة مفهومة وفي التوقيت المناسب، من أجل تعزيز فهمهم للاستراتيجيات الوقائية والتخفيف من قلقهم ودعم مبادراتهم الوقائية الخاصة.**

ويلزم اتخاذ ترتيبات على الصعيدين الوطني والمحلي لإبلاغ المعلومات بطريقة مفهومة إلى أفراد الجمهور الذين قد يتأثرون بالحوادث ذات العواقب الإشعاعية. ويلزم أن تتيح الترتيبات إجراء حوار شخصي مباشر، لكي يتسنى للأفراد التماس الإيضاحات والتعبير عن شواغلهم. وسوف تتطلب هذه الترتيبات بذل جهود متسقة من جانب السلطات المختصة والخبراء والمهنيين المختصين من أجل تقديم الدعم والمشورة للأفراد المتضررين والمجتمعات المحلية المتضررة. وتبادل المعلومات مهم عند إبلاغ هؤلاء الأفراد بالقرارات الرامية إلى وقايتهم، بما في ذلك دعم مبادراتهم الخاصة.

— **خلال أي مرحلة من مراحل الطوارئ، يتعين أن ينصبَّ التركيز على حماية الناس. ولا يمكن السيطرة على الجرعات التي تصيب الكائنات الحية، ويمكن أن تنطوي هذه الجرعات على أهمية كبيرة على أساس فردي. وينبغي تعزيز معرفة ما للتعرض للإشعاعات من آثار على الكائنات الحية غير البشرية، وذلك بتحسين منهجية التقييم وتحسين فهم الآثار المستحثة بالإشعاعات على مجموعات الكائنات الحية وعلى النظم الإيكولوجية. وعقب وقوع انبعاث كبير للنويدات المشعة إلى البيئة، يلزم اعتماد منظور متكامل بغية ضمان استدامة أعمال الزراعة والغابات ومصايد الأسماك والسياحة واستخدام الموارد الطبيعية.**

وقد يكون من الصعب تخفيض الجرعات التي تصيب الكائنات الحية غير البشرية تخفيضًا كبيرًا، وذلك بسبب الصعوبة العملية لتطبيق تدابير التصدي. كما أن تقييم الآثار الواقعة على النباتات والحيوانات في أعقاب حوادث مثل الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية يتطلب النظر في العديد من العوامل الضاغطة المحتملة – وما التعرض للإشعاعات سوى واحد من هذه العناصر العديدة. ويلزم أيضًا إيلاء الاعتبار لإمكانية تزايد وتراكم النويدات المشعة الطويلة العمر في البيئة، وكيف يمكن أن يؤثر ذلك على النباتات والحيوانات على مدى أجيال متعددة.

٥- التعافي بعد الحادث

عقِبَ وقوع الحادث في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، أُسندت الأولوية على الفور للعمل على تحقيق استقرار الظروف في المحطة ووقاية الجمهور من خلال تطبيق إجراءات العمل التي انطوت على الإيواء في الملاجئ وإجلاء المقيمين في المناطق المتضرِّرة وفرض قيود على الأغذية[١٠٦] ومياه الشرب. ومع تقدُّم مسار العمل واستقرار الظروف في الموقع، انصبَّ التركيز بقدرٍ أكبر على التعافي من الحادث، بما في ذلك إنعاش المجتمع المحلي واستصلاح البنية الأساسية.

ويتناول هذا القسم التقدم المحرز في مجال التعافي بعد الحادث، حتى آذار/مارس ٢٠١٥، وكذلك الخطط من أجل المستقبل. ويتناول في المقام الأول حالةَ التعرّض للإشعاعات، التي أعقبت حالة الطوارئ.

٥-١- استصلاح المناطق المتضرِّرة من جرّاء الحادث خارج الموقع

يكمن الهدف الطويل الأجل المتوخَّى من عملية التعافي[١٠٧] بعد الحادث في إعادة إرساء أساس مقبول لقيام مجتمع يؤدِّي وظيفته على نحوٍ تام في المناطق المتضرِّرة. وينبغي إيلاء الاعتبار لاستصلاح[١٠٨] المناطق المتضرِّرة من الحادث وذلك من أجل خفض الجرعات الإشعاعية، بما يتسق مع المستويات المرجعية المعتمدة. ولدى الإعداد لعودة الذين أُجلو عن المنطقة، لا بدَّ من النظر بعين الاعتبار في عوامل مثل ترميم البنية الأساسية وحيوية المجتمع المحلي في الصمود ومزاولة النشاط الاقتصادي المستدام.

وقبل حادث فوكوشيما داييتشي، لم تكن توجد في اليابان سياسات واستراتيجيات قائمة بشأن الاستصلاح فيما بعد الحادث، وقد أصبح من الضروري إعدادها في الفترة التي تلت الحادث. وقد سنَّت حكومة اليابان السياسة العامة بشأن الاستصلاح[١٠٩] في آب/أغسطس ٢٠١١. وأسندت مسؤوليات إلى الحكومات الوطنية والمحلية، والجهة المشغِّلة، والجمهور، واستحدثت الترتيبات المؤسسية اللازمة لتنفيذ وتنسيق برنامج العمل.

ولقد وُضعت استراتيجية بشأن الاستصلاح وبدء تنفيذها. وتحدّد الاستراتيجية أنَّ المناطق ذات الأولوية للاستصلاح هي المناطق السكنية، بما فيها المباني والحدائق والمزارع والطرق والبنية الأساسية، مع التشديد على خفض جرعات التعرُّض للإشعاعات الخارجية.

وتمثِّل الجرعة الخارجية من النويدات المشعَّة المترسّبة على السطوح الأرضية وغيرها المسار الرئيسي للتعرُّض للإشعاعات. ولذلك تركّز استراتيجية الاستصلاح على أنشطة إزالة التلوث الرامية إلى خفض مستويات السيزيوم المشع الموجودة في المناطق ذات الأولوية، ومن ثَمَّ الحدِّ من احتمالات حدوث هذه

---

[١٠٦] بما في ذلك القيود على توزيع الأغذية وبيعها، واستخدام الأراضي الزراعية، وجني منتجات الأغذية البرية (انظر القسم ٣-٣).

[١٠٧] تشمل أنشطة التعافي بعد الحادث ما يلي: استصلاح المناطق المتضرِّرة من جرّاء الحادث؛ وتحقيق استقرار المرافق المتضررة خارج الموقع والاستعداد لإخراجها من الخدمة؛ والتصرف في المواد الملوَّثة والنفايات المشعة الناشئة عن هذه الأنشطة؛ وإنعاش المجتمع وإشراك الجهات المعنية.

[١٠٨] يُعرَّف الاستصلاح بأنه أي تدابير يمكن القيام بها لتقليص *التعرض للإشعاعات* الناجم عن *تلوث* موجود في مساحات من الأرض عن طريق إجراءات يتم تطبيقها على *التلوث* نفسه *(المصدر)* أو على *مسارات التعرُّض الموصِّلة* إلى البشر.

[١٠٩] قانون التدابير الخاصة بشأن التعامل مع تلوث البيئة بموادٍ مشعَّة مصرَّفة من جراء الحادث في محطة القوى النووية المقترِن بالهزة الأرضية في مقاطعة طوهوكو – المقابلة للمحيط الهادئ التي وقعت في ١١ آذار/مارس ٢٠١١، القانون رقم ١١٠ لسنة ٢٠١١.

التعرُّضات. ويستمرَ التحكُّم في الجرعات الداخلية بواسطة القيود المفروضة على الأغذية، وكذلك من خلال أنشطة الاستصلاح المعنية بالأراضي الزراعية.

وعقبَ الحادث، اعتمدت السلطات في اليابان 'مستوى مرجعياً' باعتباره مستوى جرعات مستهدفاً بلوغه بخصوص استراتيجية الاستصلاح الكلّية. وكان هذا المستوى متسقاً مع الحدِّ النهائي الأدنى من المدى المحدَّد في الإرشادات الدولية. ولكنَّ تطبيق مستوى مرجعي منخفض له تأثير في زيادة كمية المواد الملوثة الناتجة في سياق أنشطة الاستصلاح، ومن ثم زيادة التكاليف والمطالب بشأن الموارد المحدودة. وكان بالإمكان استخدام الخبرات المكتسبة في اليابان لإعداد إرشادات عملية بشأن تطبيق معايير الأمان الدولية في ظروف التعافي بعد الحادث.

وقد حُدِّدت فئتان من المناطق الملوَّثة استناداً إلى الجرعات السنوية الإضافية المقدَّرة في خريف عام ٢٠١١. وأسنِدت المسؤولية إلى الحكومة الوطنية عن وضع وتنفيذ خطط الاستصلاح في الفئة الأولى من المناطق ('منطقة إزالة التلوث الخاصة') – ضمن شعاع طوله ٢٠ كم من موقع فوكوشيما دايتشي، وفي المناطق التي كان متوقَّعاً فيها أن يتجاوز فيها مقدار الجرعات السنوية الإضافية الناتجة عن التلوث على السطوح الأرضية ٢٠ ملِّي سيفرت في السنة الأولى بعد الحادث. وأُسندت إلى الدوائر البلدية المسؤولية عن تنفيذ أنشطة الاستصلاح في الفئة الأخرى من المناطق ('منطقة مسح التلوث المكثَّف')، التي كان متوقعاً أن يتجاوز فيها مقدار الجرعات السنوية الإضافية ١ ملِّي سيفرت، ولكنْ يظلّ دون ٢٠ ملِّي سيفرت. وُوضعت أهداف محدَّدة لخفض الجرعات، بما في ذلك هدف طويل الأجل لبلوغ جرعة سنوية إضافية مقدارها ١ ملِّي سيفرت أو أقل.

٥-١-١- إنشاء إطار قانوني ورقابي للاستصلاح

عقب الحادث، صاغت حكومة اليابان سياسة بشأن التعافي والاستصلاح، وذلك من خلال اشتراع 'قانون التدابير الخاصة بشأن التعامل مع تلوث البيئة بموادٍ مشعَّة مصرَّفة من جراء الحادث في محطة القوى النووية المقترِن بالهزَّة الأرضية في مقاطعة طوهوكو – المقابلة للمحيط الهادئ التي وقعت في ١١ آذار/مارس ٢٠١١'، في آب أغسطس ٢٠١١ [124]. ويتضمن ذلك القانون أحكاماً بشأن تحديد المواقع ذات الأولوية المراد استصلاحها وتخصيص الأموال اللازمة للاضطلاع بأعمال الاستصلاح وإشراك الجهات المعنية في العملية برمّتها.

والخطوتان الأوليان في صدد إعداد برنامج للاستصلاح هما تحديد مستوى مرجعي مناسب، ووضع استراتيجية للاستصلاح من أجل بلوغ المستوى اللازم في خفض تعرُّض أفراد الجمهور للإشعاعات. وتوصي الإرشادات الدولية باختيار مستوى مرجعي من مدى الجرعة الإضافية الذي يتراوح بين ١ و٢٠ ملّي سيفرت في السنة، تبعاً للظروف السائدة (الإطار ٥-١) [129, 198, 263].[١١٠]

وفي تحديد أيِّ مستويات مرجعية ضمن هذا المدى، من المهم ألا تكون هذه المستويات مرتفعة أكثر مما ينبغي، مما يضرّ بأهداف الأمان اللازم، ولا منخفضة أكثر مما ينبغي، مما يمكن أن يؤدِّي إلى استخدام الموارد المحدودة على نحو دون المستوى الأمثل. وفي المراحل الأولية من عملية الاستصلاح في اليابان في عام ٢٠١١، وضعت حكومة اليابان مستويات مرجعية كانت منخفضة عن قصد [264, 265] واعتُمد هدف طويل الأجل لصالح المقيمين في تلك المناطق، عقب الاستصلاح، قصد جعل الجرعة الإضافية لا تزيد على ١ ملِّي سيفرت في السنة [266]. وتعد هذه أدنى قيمة في المدى المذكور في الإرشادات الدولية (الإطار ٥-١).

---

[١١٠] كانت الصيغة المعدَّة ما قبل النشر من الطبعة المؤقتة من معايير الأمان الأساسية الدولية متاحة في وقت وقوع الحادث [263]. ثم نُشر لاحقاً العدد رقم GSR Part 3 من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية [198] في عام ٢٠١٤.

إنَّ النزعة المحافظة بدرجة عالية في النهج المتَّبع في تقدير الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها الناس قد وضَّحها بتفصيل تقييمٌ أجرته لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري [148]. وتستند الجرعات التقديرية إلى النشاط الإشعاعي في كل وحدة مساحة للسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧، حيث يؤخذ في الحسبان انحدار النشاط من جراء الاضمحلال، وفَقْد النشاط من جراء الانحلال بفعل التَجوية على السطوح، وعامل الحجب الوقائي الذي يُعدُّ سمةً نمطية في البيوت الخشبية. وأشارت الحسابات التي أُجريت لغرض إعداد هذا التقرير، باتباع المنهجية نفسها التي اتبعتها اللجنة العلمية المذكورة [148, 267]، إلى أنَّ متوسط الجرعات الإشعاعية الإضافية في عام ٢٠١٢ في أجزاء كبيرة من منطقة مسح التلوث المكثَّف (انظر القسم ٥-١-٢) قد يكون أدنى بكثير من ١ ملِّي سيفرت/سنة في عام ٢٠١٢.

الإطار ٥-١- مستوى مرجعي بشأن الاستصلاح

'المستوى المرجعي' هو مقدار الجرعة المستهدف بخصوص استراتيجية الاستصلاح الكلي، ولكنه ليس حدًّا للجرعة. وتوصي الإرشادات الدولية [129, 263] بمستويات مرجعية في المدى الذي يتراوح بين ١ ملِّي سيفرت/في السنة و٢٠ ملِّي سيفرت/في السنة فيما يخص التعرُّض الإضافي لدى أي فرد من أفراد الجمهور في 'حالات التعرض القائمة'، تبعاً للظروف السائدة.

والمستويات المرجعية تقرِّرها الحكومة أو الهيئة الرقابية أو أي سلطة معنية أخرى، وفقاً للترتيبات التي تنضوي في الإطار الرقابي الوطني. وتُستعمل المستويات المرجعية في حالات ما بعد الحوادث من أجل تحديد الاستراتيجيات المثلى بشأن الاستصلاح. ومن شأن هذه الاستراتيجيات أن تضمن القيام بالاستصلاح من خلال استخدام الموارد البشرية والتقنية والمالية بكفاءة بغية تحقيق أفضل محصَّلات النتائج في وقاية المجتمعات المحلية المتضرِّرة.

كما أنَّ إجراءات العمل المحدَّدة التي تُطبَّق من أجل خفض التلوُّث البيئي والجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها الناس تسترشد عموماً 'بمستويات إجراءات الاستصلاح' المستنبطة. وهذه تُحدَّد عادةً بالنسبة إلى مقادير كمية قابلة للقياس بسهولة، ومنها مثلاً معدَّلات جرعة أشعة غاما المحيطة (ميكروسيفرت/ساعة 'µSv/h') أو النشاط الإشعاعي المرسَّب في كل وحدة مساحة (بكريل/م^{٢})، وتُستمَدّ من المستويات المرجعية باستخدام نماذج وافتراضات عن عادات معيشة الناس وعن سلوك النويدات المشعّة في البيئة.

٥-١-٢- استراتيجية الاستصلاح المعتمدة

تأثَّرت استراتيجية الاستصلاح بكون الجرعات الداخلية عقب الحادث قد تم اجتنابها في الأكثر بفضل تنفيذ قيود فُرضت على الأغذية ومياه الشرب. وتبعاً لذلك، فإنَّ إجراءات الاستصلاح الوارد وصفها هنا عُنيت في المقام الأول بجهود إزالة التلوث الرامية إلى خفض مستويات الجرعات الخارجية.

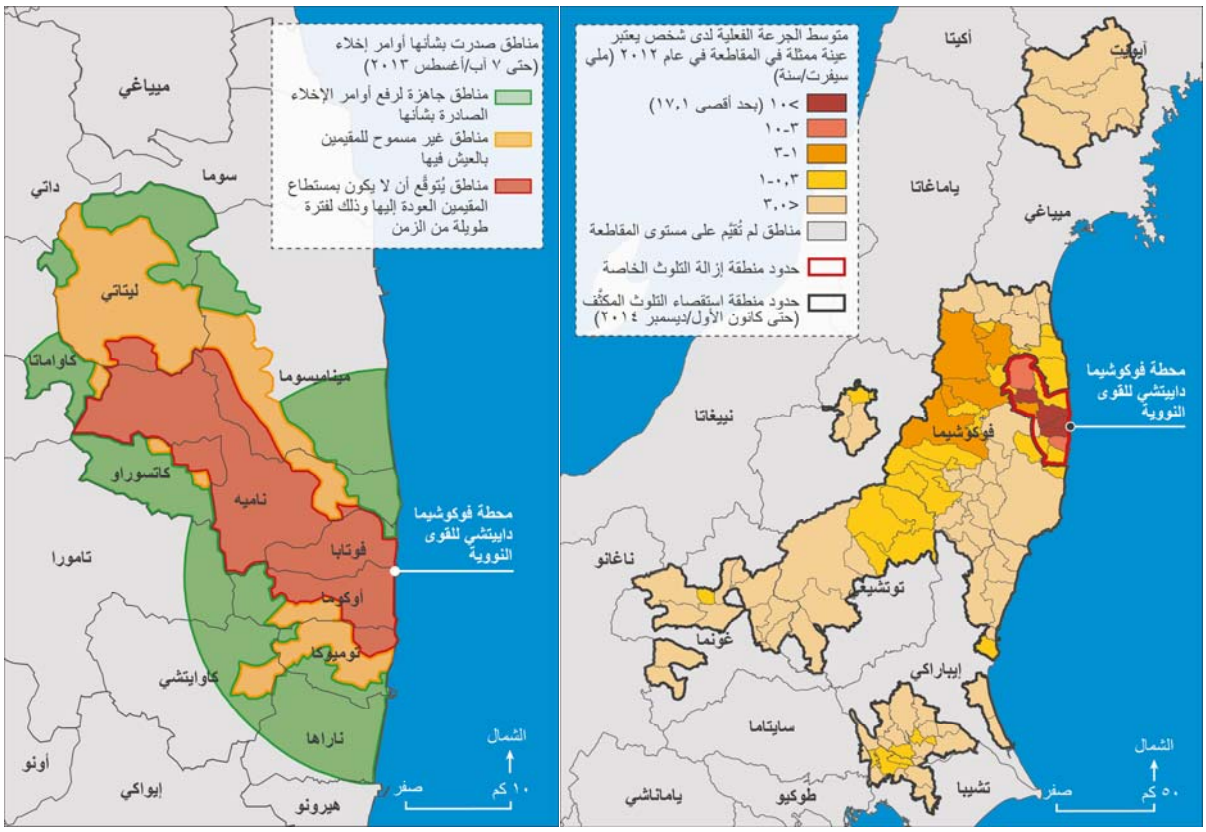
فقد حدَّدت حكومةُ اليابان في استراتيجيتها الاستصلاحية نهجاً يُتَّبع بشأن الإسراع في خفض الجرعة الإشعاعية، من خلال إسناد الأولوية للاستصلاح في المناطق السكنية وفي مناطق الأراضي الزراعية والأحراج المتاخمة للمناطق السكنية أو المناطق الزراعية [124, 266]. وبغية تيسير القيام بذلك، صنّفت الحكومةُ، في آب/أغسطس ٢٠١١، الأراضي المراد استصلاحها كما يلي:

- **منطقة إزالة التلوث الخاصة** (الشكل ٥-١، الجانب الأيمن). تتداخل هذه المنطقة مع "المناطق المقيَّدة الدخول" السابقة، أي منطقة الإخلاء الواقعة ضمن حدود شعاع طوله ٢٠ كم من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، و"مناطق الإخلاء المتعمَّد" السابقة، التي كانت تقع ما بعد الشعاع الذي يمتد ٢٠ كم من المحطة، والتي يمكن أن تتجاوز فيها الجرعة السنوية الإضافية لدى الأفراد مقدار ٢٠ ملِّي سيفرت في السنة الأولى بعد الحادث. وضمن منطقة إزالة التلوث الخاصة، تتحمّل الحكومة الوطنية المسؤولية عن وضع وتنفيذ خطط الاستصلاح.
- **منطقة مسح التلوث المكثّف** (الشكل ٥-١، الجانب الأيمن). تشمل هذه المنطقة البلديات التي قُدِّرت فيها الجرعة الإشعاعية الإضافية في السنة الأولى بما يتراوح بين ١ ملِّي سيفرت و٢٠ ملِّي سيفرت لدى

الأفراد في بعض أنحاء البلدية الواحدة.[١١١] وتقوم البلديات بعمليات مسح استقصائي من خلال الرصد من أجل تحديد المناطق التي تتطلَّب إزالة التلوث منها، ونضطلع بأنشطة الاستصلاح في هذه المناطق، ووفَّرت الحكومة الوطنية لها الدعم المالي والتقني.

وفي عامي ٢٠١٢ و٢٠١٣، قُسِّمت على نحو إضافي المناطق التي صدرت بشأنها أوامر إخلاء إلى أجزاء فرعية ضمن الفئات الثلاث التالية، استناداً إلى إجمالي الجرعات السنوية التقديرية لدى الأناس الساكنين في تلك المناطق، حيثما وجدوا (الشكل ٥-١، الجانب الأيسر) [268, 269]:

- **المنطقة ١ (الخضراء).** المناطق الجاهزة لرفع أوامر الإخلاء الصادرة بشأنها. وكان متوقعاً أن يبلغ مقدار الجرعة السنوية التقديرية فيها ٢٠ ملِّي سيفرت أو أقل.
- **المنطقة ٢ (البرتقالية).** المناطق التي كان لم يُسمح بعدُ للمقيمين فيها بالسكن فيها. وكان متوقعاً أن تتجاوز الجرعة السنوية التقديرية فيها ٢٠ ملِّي سيفرت.
- **المنطقة ٣ (الحمراء).** المناطق التي كان متوقعاً على سبيل التحوُّط ألا يكون بمستطاع المقيمين فيها العودة إليها وذلك لفترة طويلة من الزمن. وكان متوقعاً أن تبلغ الجرعة السنوية التقديرية أعلى من ٥٠ ملِّي سيفرت، وأن يبلغ متوسط الجرعة السنوية على مدى فترة الست سنوات بعد الحادث أكثر من ٢٠ ملِّي سيفرت.



الشكل ٥-١- تُظهر الخريطة في الجانب الأيسر الجزء الفرعي من منطقة الإخلاء حتى ٧ آب/أغسطس ٢٠١٣ [270]. وتُظهر الخريطة في الجانب الأيمن تسمية "منطقة إزالة التلوث الخاصة" و"منطقة مسح التلوث المكثَّف" حتى كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٤ وتشير إلى الجرعات الإشعاعية الإضافية المقدّرة للأشخاص الممثلين في عام ٢٠١٢.

٥-١-٣- التقدُّم في مسار الاستصلاح

اضطُلع بعددٍ من المشاريع الرائدة على سبيل التجربة في عام ٢٠١١. وقد أجرت الوكالة اليابانية للطاقة الذرّية في البدء سلسلةً من الدراسات الصغيرة النطاق في موقعين خارج المناطق التي أُخليت من ساكنيها وذلك لتقييم

[١١١] معدَّل الجرعة المحيطة البالغ ٠,٢٣ ميكروسيفرت/ساعة استُخدم باعتباره المعيار الإشعاعي بخصوص هذه المنطقة. ويقابل هذا المعدَّل من الجرعات الجرعةَ الفعلية الإضافية المقدَّرة على نحو يتسم بنزعة محافظة بحدود ١ ملِّي سيفرت في سنة واحدة.

فعالية عملية إزالة التلوث في تحقيق تخفيضات في معدَّل الجرعة بخصوص أنواع مختلفة من السطوح البارزة (مثلاً الشوارع وأسطحة المباني والجدران والمروج الخضراء) [271]. ثم نظرت الدراساتُ اللاحقة في مسألة الجدوى العملية في إزالة التلوث من مساحات أكبر في المناطق التي أُجليت من سكانها، وقيَّمت فعالية هذه التدابير في خفض معدلات جرعة أشعة غاما المحيطة، واستكشفت تبعات ذلك بخصوص أمان العاملين والتصرُّف في النفايات.

وقد أدَّت هذه الدراسات الرائدة التجريبية دوراً هاماً في تخطيط استراتيجيات الاستصلاح وتنفيذها. وقدَّمت معلومات عن فعالية تقنيات إزالة التلوث وقابلية تطبيقها، وساعدت على إقرار إجراءات تتبُّع بشأن وقاية العاملين من الإشعاعات [272].

وترد في الجدول ٥-١، قائمة بتدابير الاستصلاح المنفَّذة عموماً عقبَ حادث محطة فوكوشيما داييتشي. وقد استُخدمت على نطاق واسع في غضون السنوات الأولى من أنشطة الاستصلاح، تقنية إزالة التربة السطحية، التي تولِّد مقداراً كبيراً من النفايات.

الجدول ٥-١- تدابير الاستصلاح المنفَّذة عموماً

الهدف	تدابير الاستصلاح
المساكن والمباني	— إزالة الترسبات من الأسطحة والأرضيات والمزاريب — التنظيف المسحي للأسطحة والجدران — الصنفرة الرملية بالتفريغ الهوائي — الغسل بالضغط العالي
فِناءات المدارس والجنائن والحدائق العامة	— إزالة طبقة التربة السطحية — إزالة الحشائش البرية وأعشاب الجنائن والمروج
الطرق	— إزالة الترسبات في الخنادق والقنوات — الغسل بالضغط العالي
الحدائق والأشجار	— جزّ الأعشاب — إزالة الأوراق المتساقطة من الأشجار — إزالة التربة السطحية — الغسل بالضغط العالي — تقليم القشور السطحية من الأشجار
أراضي المزارع	— حرث الأراضي لقلب التربة — إزالة التربة السطحية — معالجة التربة (مثلاً استخدام الأسمدة المعزَّزة) — تصليد التربة وإزالتها — إزالة الحشائش البرية وأعشاب الجنائن والمروج
الإنتاج الحيواني	— مراقبة مستويات السيزيوم المشع في أعلاف الحيوانات
الأحراج والغابات	— إزالة الأوراق المتساقطة من الأشجار وأغصانها السفلى — التشذيب

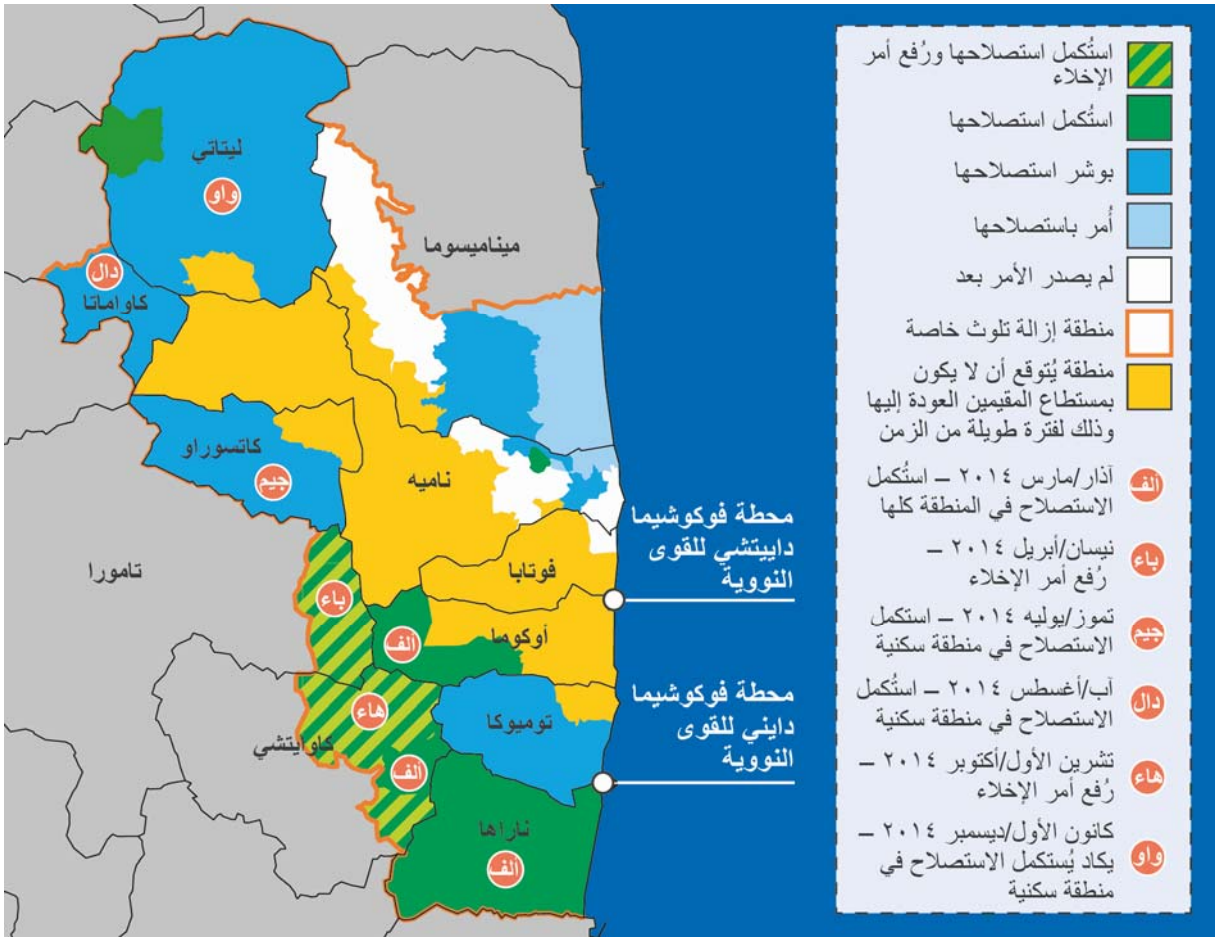
نُفِّذت لاحقًا استراتيجيات الاستصلاح في منطقة مسح التلوث المكثَّف ومنطقة إزالة التلوث الخاصة على حدٍّ سواء، وأُحرز تقدُّم كبير في هذا الصدد. وبحلول نهاية آذار/مارس ٢٠١٥، كانت عملية إزالة التلوث في معظم أجزاء منطقة مسح التلوث المكثف، الواقعة خارج محافظة فوكوشيما قد شارفت على الاستكمال (في ما نسبته ٨٠٪ من البلديات). أما في منطقة مسح التلوث المكثف الواقعة داخل محافظة فوكوشيما، فقد تمت إزالة التلوث من حوالي ٩٠٪ من المرافق العمومية، و٦٠٪ من مساكن الإقامة، و٥٠٪ من الطرق [273].

وأما داخل منطقة إزالة التلوث الخاصة، فقد استُكملت، في آذار/مارس ٢٠١٥، خطط إزالة التلوث في أربع بلديات (هي مدينة تامورا، وقرية كاوايتشي، وبلدة ناراها، وبلدة أوكوما). واستُكملت أيضاً أعمال إزالة التلوث في المناطق السكنية في بلديتين أخريين (هما قرية كاتسوراو، وبلدة كاواماتا)، وتكاد أن تُستكمل في قرية إيتاتي

[273]. وكان من المقرَّر أن تُستكمل معظم خطط أنشطة إزالة التلوث في منطقتي إزالة التلوث ١ و٢ داخل محافظة فوكوشيما قبل نهاية آذار/مارس ٢٠١٦، مع أنَّه كان من المقرَّر أن تستمر بعض الخطط حتى عام ٢٠١٧ (الشكل ٥-٢).

وقد بيَّنت التقصِّيات التي أُجريت في المناطق السكنية في بلديتي تامورا وناراها أنَّ معدلات جرعة أشعة غاما المحيطة قد خُفِّضت بنسبةٍ يتراوح متوسطها بين ٣٦٪ و٤٦٪، على التوالي. وتُحدَّد معدلات جرعة غاما (انظر الإطار ٥-١) بقياس معدَّلات الجرعات المحيطة على مسافة متر واحد من السطوح المزال تلوثها، قبل الاضطلاع بإجراءات الاستصلاح وبعده على حدٍّ سواء. وتراوحت تخفيضات متوسط معدَّل الجرعات في البلدتين عقب الإجراءات الاستصلاحية في أراضي المزارع والأحراج والطرق بين ٢١٪ و٤٤٪ [273].

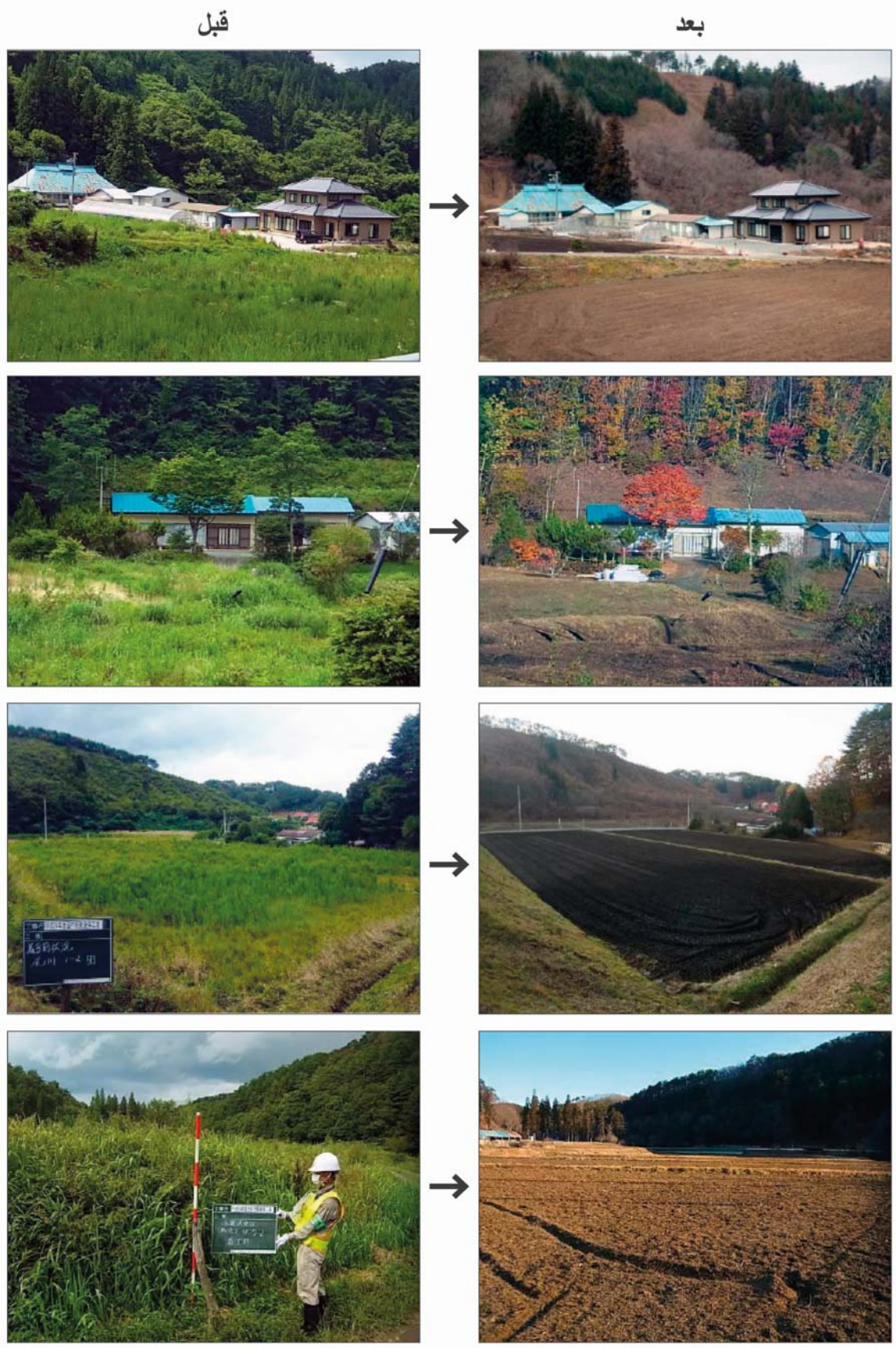
وتشير البيانات إلى أنَّ خفض معدَّلات جرعة غاما المحيطة هو أبرز دلالةً في المناطق التي ظهرت فيها معدَّلات جرعة أولية أعلى من غيرها. ويتواصل بعد الاستصلاح تدني معدلات جرعة غاما بسبب عمليات التجوية الطبيعية والاضمحلال الإشعاعي.



الشكل ٥-٢ - التقدُّم المحرَز في الاستصلاح في مناطق إزالة التلوث الخاصة حتى كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٤ [273].

وترد في الشكل ٥-٣، أمثلة على أنشطة إزالة التلوث.

وأما وحدات تكلفة إزالة التلوث في مناطق إزالة التلوث الخاصة الخاضعة للتحكُّم الرقابي المباشر من جانب الحكومة الوطنية فقد تراوحت بين حوالي ١١٠٠ ين ياباني للمتر المربع (في الأحراج) وما يقارب ٥٥٠٠ ين ياباني للمتر المربع (في الحدائق العامة) [274].



الشكل ٥-٣- صور مناظر طبيعية لمناطق قبل الاستصلاح وبعده في مدينة تامورا (الصور مهداة من وزارة البيئة في اليابان).

٥-٢- تحقيق استقرار الظروف داخل الموقع والأعمال التحضيرية للإخراج من الخدمة

وُضعت بالاشتراك بين شركة طوكيو للطاقة الكهربائية (شركة تيبكو) والوكالات المعنية التابعة لحكومة اليابان خطة استراتيجية شاملة رفيعة المستوى لتحقيق استقرار ظروف محطة القوى النووية المتضررة وإخراجها من الخدمة. وصدرت الخطة في المرة الأولى ، في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١ . وتم تنقيحها لاحقًا لكي تتبدَّى فيها الخبرةُ المكتسبة والفهمُ المحسَّن لظروف محطة القوى النووية المتضرّرة، وكذلك جسامةُ التحدِّيات التي ستُواجه في المستقبل. وتعالج الخطة الاستراتيجية الطابع المعقد الذي تتسم بها الأعمال في الموقع، وتشمل: النهجَ المتَّبع في كفالة الأمان؛ والتدابيرَ الرامية إلى إخراج المحطة من الخدمة؛ والنُظمَ والبيئات التي تيسِّر تلك الأعمال؛ ومتطلَّبات البحث والتطوير.

وفي وقت كتابة هذا التقرير، أُعيد إنشاء الوظائف الخاصة بالأمان، ووُضعت البُنى والنظم والمكوِّنات اللازمة للحفاظ بشكل موثوق على استقرار الظروف. ولكن كانت هنالك حاجة مستمرّة لمراقبة ودرء دخول المياه الجوفية إلى مباني المفاعل المتضرّرة والملوَّثة. وكان الماء الملوَّث الناتج يُعالَج لإزالة النويدات المشعَّة منه بالقدر الممكن إزالته، وكان يُخزَّن في أكثر من ٨٠٠ صهريج. وثمة حاجة إلى حلول أكثر استدامة، مع مراعاة مختلف الخيارات، بما فيها إمكانية استئناف تصريف تلك المياه في البحر على نحو متحكَّم فيه. وسيستدعي اتخاذ قرار نهائيًا إشراك الجهات المعنية ومراعاة الظروف الاجتماعية والاقتصادية في عملية التشاور، وكذلك تنفيذ برنامج رصد شامل.

وقد أُعدَّت خطط لإدارة أعمال التصرُّف في حطام الوقود والوقود المستهلَك، واستُهلَّت إزالة الوقود من أحواض الوقود المستهلك[١١٢]. واستُحدث أيضا نموذج مفاهيمي للأنشطة المزمع القيام بها في المستقبل من أجل إزالة حطام الوقود، يأخذ في الحسبان العديدُ من الخطوات التمهيدية اللازمة، بما فيها تأكيد نَسق مكوّنات هذا الحطام وتركيبه. ولكنَّ ارتفاع مستويات الجرعة الإشعاعية في المفاعلات المتضرِّرة دلَّ على أنَّ هذا التأكيد لم يكن ممكناً في وقت كتابة هذا التقرير.

وقدَّرت السلطاتُ اليابانية أنَّ الإطار الزمني لاستكمال أعمال الإخراج من الخدمة من المرجَّح أن يتراوح بين ٣٠ و٤٠ سنة. وذكرت أن القرارات اللازم اتخاذها بشأن الظروف النهائية في المحطة والموقع كله سوف تكون موضوعَ تحليلات ومناقشات إضافية.

الإطار ٥-٢- تحقيق الاستقرار والإخراج من الخدمة بعد الحادث

يشير المصطلح "الإخراج من الخدمة" إلى الإجراءات الإدارية والتقنية المتَّخذة لإتاحة إزالة بعض أو جميع الضوابط الرقابية المفروضة على مرفق.

ومن حيث الممارسة الواقعية، يعني الإخراجُ من الخدمة العملية التدريجية لإزالة بُنى المرفق ونُظمه ومكوّناته. وفي الظروف العادية، يكون إخراج محطة قوى نووية من الخدمة نشاطاً مخطّطاً له مسبقاً يُباشر بعد أن يتمّ اتخاذ القرار بشأن إنهاء عمليات التشغيل. ويمثل الإخراجُ من الخدمة بعد وقوع حادث مجموعةً مختلفة من التحدِّيات، حيث إنه: ينبغي أولاً تحديد ظروف المرافق وحالة الوقود ومعدات المحطة، وتقرير مسار يُتَّبع للمضيّ قُدماً في هذا الصدد. وهذا قد يتطلب استحداث تكنولوجيات ومنهجيات جديدة.

وإذا كان إغلاقُ المفاعل هو نتيجةً لوقوع حادث، فإنَّه ينبغي إعادة المرفق إلى نسق (استقرار) مأمون قبل أن تُوضع موضع التنفيذ أي خطة نهائية معتمدة بشأن إخراجه من الخدمة. ويشتمل تحقيق الاستقرار على إجراءات عمل لازمة لضمان تهيئة بُنى المحطة (كالمباني التي تأوي المفاعلات المتضررة)، ونُظمها (ومنها مثلاً نُظم الإمداد الكهربائي)، ومكوّناتها (كالمضخَّات أو المحرّكات) لتكون في ظرف مستقر ويمكنها أن تعمل لفترة طويلة حسبما قد يكون لازماً.

---

[١١٢] استُكملت إزالة الوقود من حوض الوقود المستهلك في الوحدة ٤ في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٤.

٥-٢-١- الخطة الاستراتيجية

عقب حالة الطوارئ، وضعت شركة تيبكو والوكالات الحكومية المعنية خطةً استراتيجية – وهي " خارطة الطريق المتوسطة والطويلة الأجل نحو إخراج الوحدات ١-٤ من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية " – لأنشطة تحقيق الاستقرار والإخراج من الخدمة [275]. وقد صدرت الخطة في المرة الأولى في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١ وتم تنقيحها لاحقًا لكي تُوضع في الحسبان فيها الخبرة المتزايدة والفهم المحسَّن للظروف في الموقع [276][١١٣]. وهي عبارة عن خطة استراتيجية شاملة رفيعة المستوى لكي يستخدمها المشرفون على تحقيق التعافي. ومن المتوقع أن تُستكمل عملية الإخراج من الخدمة في إطار زمني يتراوح بين ٣٠ و٤٠ سنة، وفقاً لتقديرات السلطات اليابانية.

وتقدِّم الخطة وصفًا للنهج الاستراتيجي الذي يُتَّبع بشأن مجالات العمل بخصوص ما يلي:

- **النهج الرامي إلى ضمان الأمان**، الذي يشمل أهدافاً استراتيجية بشأن الحدّ من المخاطر والتحسين الأمثل لطريقة إزالة الوقود وحطام الوقود.
- **التدابير المتوسطة الأجل والتدابير الطويلة الأجل صوب الإخراج من الخدمة**، التي تشمل خططاً لإزالة الوقود وحطام الوقود من كل وحدة مفاعل. وهذه الخطط مرِنة بما يكفي لمواجهة مجموعة الظروف المختلفة التي قد تظهر كلما تمَّ الحصول على المزيد من المعلومات في أثناء مسار عملية إزالة الوقود وحطام الوقود.
- **النُظم والبيئة التي تيسِّر العمل**، التي أنشأت الشركةُ اليابانية "تيبكو" بشأنها إطاراً تنظيمياً من أجل الرصد المركزي لصحة العاملين وتعرضهم للإشعاعات. وتواصلت الجهود المبذولة بغية تحسين وقاية العاملين من الإشعاعات، ووُضعت خطط لإدارة وضمان توافر قوة عمل مدرَّبة جاهزة طوال مراحل عملية الإخراج من الخدمة.
- **أنشطة البحث والتطوير**، التي هي ضرورية لأنَّ جزءاً كبيراً من العمل الذي ينبغي إنجازه في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية هو الأول من نوعه، الذي يقتضي المعدات والتكنولوجيات التي ما زال ينبغي استحداثها لكي تُستخدم على نطاق واسع. وقد تم إنشاء معهد البحوث الدولي لإخراج المحطات النووية من الخدمة، وذلك من أجل استحداث التكنولوجيات اللازمة لإخراج المرافق النووية من الخدمة، وتعزيز التعاون مع المنظمات الدولية والمحلية في مجال إخراج المرافق النووية من الخدمة، وتنمية الموارد البشرية اللازمة لأنشطة البحث والتطوير.

٥-٢-٢- الأعمال التحضيرية للإخراج من الخدمة

بُعيدَ إنشاء الهيئة الرقابية النووية [278]، بادرت الهيئة إلى وضع إطار رقابي جديد للتنظيم الرقابي لما يُسمى المرافق التي عانت الكارثة، والتي تحتاج من ثَمّ إلى تدابير خاصة لمنع وقوع المزيد من الحوادث ولضمان الأمن النووي. وفي ٧ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٢، أطلقت الهيئة الرقابية النووية على محطة فوكوشيما للقوى النووية تسميةً مخصَّصة بأنها "مرافق مفاعلات محدَّدة"، وهي مرافق وقع فيها حادث نووي وتُحدَّد لها لوائح تنظيمية تكون متكافئة مع الظروف السائدة في المرافق المعنية.

---

[١١٣] يُتوقع إجراء تنقيحات أخرى لخارطة الطريق بعد تعديل الخطط استجابة للظروف المتغيرة وما يستجد من معلومات. وصدر التنقيح الثالث لخارطة الطريق أثناء التحضير النهائي لهذا التقرير (حزيران/يونيه ٢٠١٥). وأدى ذلك إلى تعديل جدول ونهج إزالة الوقود والحطام، وتحسين نهج الحد من المخاطر، والاتصال مع أصحاب المصلحة المحليين، والحد من تعرض العاملين، وإدارة البحث والتطوير [277].

وقد سمحت هذه التسمية للهيئة الرقابية النووية بوضع خطة لتنفيذ إجراءات العمل المبينة في الخطة الاستراتيجية [275]. وقُدِّمت الخطة التنفيذية الخاصة بشركة تيبكو في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٢ [279]، ثم أُقرَّت فيما بعدُ. وشركة تيبكو مسؤولة عن الاضطلاع بإجراءات العمل المحدَّدة في خطة التنفيذ، وتتولى الهيئة الرقابية النووية استعراض عملية تنفيذ هذه الإجراءات.

وإضافةً إلى ذلك، وضعت الهيئة الرقابية النووية متطلبات بشأن التنظيم الرقابي فيما يخصّ إدارة عملية السيطرة على الجرعة الفعلية الإضافية في منطقة حدود الموقع، في شباط/فبراير ٢٠١٤، وحدّدت الإجراءات في 'التدابير' اللازمة لعملية الحد من المخاطر في المدى المتوسط في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية التابعة لشركة تيبكو، في شباط/فبراير ٢٠١٥ [280].

وقد أرست شركة تيبكو ظروفاً مستقرَّة في الموقع من أجل الحفاظ على الوقاية والأمان، وإتاحة الإمكانية للتقدم صوب عملية الإخراج من الخدمة [275]. وكانت وظائف الدعم الهامة، مثل الإمدادات الكهربائية المعتادة والاحتياطية، قد أُعيد إرساؤها والارتقاء بها . كما أُعيد إرساء الوظائف الأساسية الخاصة بالأمان. وتشمل الترتيبات الرامية إلى ضمان موثوقية الظروف المستقرة لأجل طويل ما يلي:

- رصد ظروف المحطة؛
- تبريد الوقود والحُطام الوقودي؛
- الحفاظ على الحالة النووية دون الحرِجة؛
- التحكّم بمستويات الهيدروجين؛
- ضمان الاستقرار البِنيوي لمباني المفاعل؛
- تبريد المياه الداخلة إلى مباني المفاعل، ومنع تسرُّبها إلى البيئة؛
- ضمان إمدادات القوى الكهربائية الأساسية؛
- ضمان الوفاء بوظائف الأمان الأساسية على المدى الطويل.

وقد تمت إعادة إرساء وتحسين وظائف الأمان الهامة وذلك، على سبيل المثال، بفضل تركيب سِمات وظيفية مساندة متعددة، وتبديل النُظُم النقَّالة والمؤقتة أو الارتقاء بها أو كليهما معاً، وذلك لتعزيز السِّمات الوظيفية الدائمة. وتظل الحالة في الموقع معقَّدة، وثمة حاجة إلى العناية بالرصد والتحكُّم على نحو دقيق بغية ضمان استمرار الظروف المستقرة.

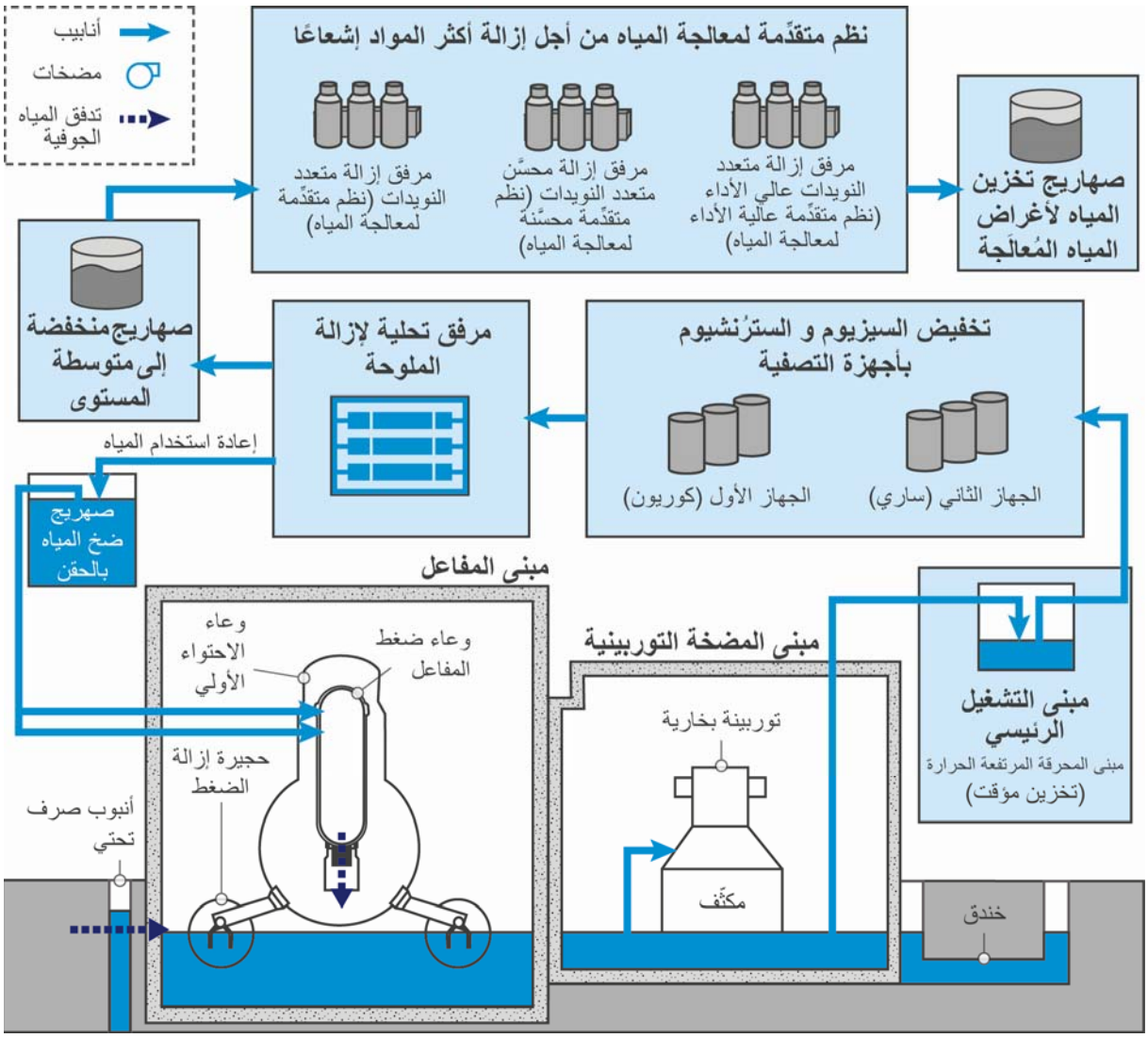
٥-٢-٣- التصرُّف في المياه الملوَّثة

المياه التي تدخل مباني المفاعل تُصبح ملوَّثة، وتثير مشكلة عويصة بصفة خاصة جراء الكميات الكبيرة من تلك المياه. وفي وقت كتابة هذا التقرير، استمرت المياه في الدخول إلى مباني المفاعل في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بطريقتين: حقن المياه إلى داخل قلوب المفاعلات لأغراض التبريد، ودخول المياه الجوفية. وظل العمل على تحديد خصائص هذه المياه كلها والتصرُّف فيها ضرورياً (الشكل ٥-٤).

وقبل الحادث، كانت المياه الجوفية المنُسابَة من الجانب الجبلي إلى الجهة الخلفية من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية تُضخّ بمعدَّل يبلغ تقريباً ٨٥٠م^3/في اليوم من مجاري الصرف التحتية المتواضّعة حول مباني الوحدات ١ إلى ٤، من أجل التحكُّم بمستوى المياه الجوفية. ولكنْ من جراء الحادث، توقّفت عن العمل مجاري الصرف التحتية والمضخَّات التي كانت تكبح طفو المياه في المباني وتحول دون دخول المياه الجوفية إلى المباني [281].

وبعد الحادث، تدفّق ما مقداره تقريباً ٤٠٠م^3/في اليوم من المياه الجوفية غير الملوثة إلى داخل المباني. ويجري يومياً دوران ما مقداره تقريباً ٤٠٠م^3/في اليوم من المياه عبر وحدات المفاعلات ١ إلى ٣ لأغراض التبريد. وتختلط المياه الجوفية التي تدخل المباني بالمياه الدائرة المستخدمة لتبريد المفاعلات، مما أدى إلى تراكم كمية ذات حجم إجمالي بلغ تقريباً ٨٠٠م^3/في اليوم من المياه الملوثة التي كان يجب التصرف فيها. ويُعاد حقن ما مقداره تقريباً ٤٠٠م^3/في اليوم من هذه المياه إلى داخل المفاعلات من أجل تبريد الوقود وحطام الوقود، وتخزّن بقية المياه البالغ حجمها ٤٠٠م^3/في اليوم في صهاريج تخزين المياه الملوثة [276].

وتُعالج المياه لإزالة النويدات المشعَّة منها، باستثناء التريتيوم، الذي لم يكن بالإمكان إزالته [282]. وتُخزّن المياه المُعالَجة في الموقع في ٨٢٦ صهريجًا (حتى ١٢ شباط/فبراير ٢٠١٥) [283].



الشكل ٥-٤- التصرُّف في المياه الملوَّثة في الموقع [284].

وقد تم نشر أو التخطيط لنشر عدَّة تقنيات مختلفة تُستخدم في التصرف في هذه المياه، بما في ذلك تحسين وتركيب نُظُم معالجةٍ وصهاريج تخزين إضافية، وترميم شبكة مجاري الصرف التحتية، وتركيب جدران غير مُنفِذة في الجانب البحري. وجرى تحويل المياه الجوفية غير الملوثة المنحدرة من المرافق المتضررة في الجزء المرتفع من مكان الموقع في مسارب جانبية حول المرافق تصبّ في المحيط (الشكل ٥-٥) [285]. وإضافةً إلى ذلك، جرى تشييد جدار قرّي "متجلِّد" من جانب الجبل المحاذي لمباني المفاعلات وذلك لمنع دخول المزيد من المياه. كما تضمَّنت الخطة المقرَّرة تشييد جدار قرّي في جانب البحر المحاذي لمباني المفاعلات.

وبموافقة الهيئة الرقابية النووية وقبول الجهات المعنية، بما فيهم محافظة فوكوشيما وقطاع صناعة صيد الأسماك، بدأت شركة تيبكو تصريف المياه الجوفية غير الملوثة المحوَّلة بالمجاري الجانبية بصبّها في البحر مباشرةً، في أيار/مايو ٢٠١٤ [285]. وقد أدَّى هذا التدبير إلى خفض حجم كميات المياه اللازم معالجتها.

وتمثِّل الكميات الكبيرة من المياه الملوثة في الموقع مجموعة متنوعة من المخاطر. ونتيجة لأعطال الصهاريج والأنابيب والصمامات، أو نتيجة لهطول الأمطار الغزيرة، لوحظت تسرُّبات مياه ملوثة إشعاعيًا ترشح من عدة مكونات. وفي بعض الحالات، أدَّت التسرُّبات إلى انطلاق نويدات مشعّة إلى داخل البحر. وقد حفّز تحديد تلك التسرُّبات على تكثيف أنشطة الرصد، في الموقع وكذلك في البيئة البحرية [287] على حدٍّ سواء. ومع أنه كان يجري تنفيذ تدابير لوقف التسرُّب أو الحدّ منه، ثمة حاجة إلى إيجاد حلول أكثر استدامةً، مع مراعاة جميع الخيارات ، بما في ذلك إمكانية استئناف توجيه مسار التصريفات في البحر على نحو متحكَّم فيه. ونتيجة لبعثات الاستعراض التي قامت بها الوكالة [289 ,288]، قُدِّمت توصية إلى شركة تيبكو بإجراء تقييم للأثر الإشعاعي المحتمل الناجم عن انطلاق مياه تحتوي على التريتيوم وأي نويدات مشعة متبقية أخرى إلى داخل البحر. واعتُرِف كذلك بأنَّ اتخاذ قرار نهائي سيتطلَّب إشراك جميع الجهات المعنية، بما في ذلك شركة تيبكو والهيئة الرقابية النووية والحكومة الوطنية وحكومة محافظة فوكوشيما والمجتمعات المحلية والجهات الأخرى، واعتُرِف كذلك بالحاجة إلى النظر في الظروف الاجتماعية والاقتصادية خلال عملية التشاور وتنفيذ برنامج رصد شامل من أجل ضمان عدم وجود أي أثر ضار يمسُّ الصحة البشرية والبيئة [289 ,288]. وفي هذا السياق، فإن مزيدًا من التوجيهات بشأن تطبيق الإرشادات الدولية للتصريفات في حالات ما بعد الحوادث من شأنه أن يكون مفيدًا.

الشكل ٥-٥- صورة توضيحية للجهود المعنية بالتصرف في المياه. وتظهر في الجانب الأيسر صهاريج تخزين المياه الملوثة [286].

٥-٢-٤- إزالة الوقود المستهلَك وحطام الوقود

يشمل العملُ التحضيري لإخراج من الخدمة المرافق المتضررة من الحادث إزالةَ الوقود المستهلك ومجمَّعات الوقود الجديدة من أحواض التخزين داخل مباني المفاعلات المتضرّرة. وقد بدأت شركة تيبكو إزالة الوقود الموجود في حوض التخزين داخل مبنى مفاعل الوحدة ٤ بنقله إلى حوض وقود عام، في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣. واستكملت هذه العملية في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٤ [290].

وستقتضي إزالة الوقود المستهلك ومجمعات الوقود الجديدة من أحواض التخزين في الوحدات ١ إلى ٣ عدّة سنوات، ويتوقَّف تقديم تقدير دقيق للوقت اللازم لذلك على التقدُّم المحرز في إزالة ركام الحطام الناتج عن الانفجارات، وإعداد البنية العليا من الوحدات ١ إلى ٣ من أجل الوصول إليها، وتوفير وسائل الدعم للمعدات والبُنى لأغراض الإزالة، وغير ذلك من التدابير. وسيتمُ وضع الوقود المستهلك في حوض عام من أجل التخزين المؤقَّت.

وتنطوي إزالة الحطام من الوقود المنصهِر في قلب المفاعل والتصرف فيه على تحدٍّ أكثر تعقيداً بكثير. ولم يكن بالإمكان التأكّد بشكل مرئي من نسق وتركيب الوقود التالف ("حطام الوقود") الناتج عن الحادث، وذلك بسبب ارتفاع مستويات الجرعة الإشعاعية في المفاعلات المتضررة. وتبيِّن التحليلات المتاحة أنَّ أكثر الوقود في الوحدة ١ قد انصهر، وأنَّ بعضه اخترق قاعَ وعاء ضغط المفاعل نافِذاً إلى وعاء الاحتواء الأولي؛ وأما في الوحدتين ٢ و٣، فقد انصهر الوقود أيضاً، ولكنَ نسبة كبيرة منه بقيت داخل أوعية ضغط المفاعلات [9].

وفي وقت كتابة هذا التقرير، كانت حكومة اليابان ترعى الاضطلاع بدراسات عن المفاهيم النظرية بشأن سُبل الوصول إلى حطام الوقود وإزالته [276, 291]. وقد استُحدِث نموذج مفاهيمي لأنشطة إزالة حطام الوقود في المستقبل، يأخذ في الحسبان الخطوات التمهيدية الكثيرة اللازمة. بما يشمل ما يلي:

(١) **خفض مستويات الإشعاع في مباني المفاعلات**. سبُل وصول العاملين إلى الأماكن داخل مباني المفاعلات عملية صعبة بسبب ارتفاع معدلات الجرعة الإشعاعية وركام الأنقاض والغبار الملوث الذي تبعثر داخلها. وسيكون من الضروري القيام بإزالة التلوث، في كثير من الأحوال بواسطة معدات تُشغَّل عن بُعد، للتمكين من سُبل الوصول إلى تلك الأماكن.

(٢) **إصلاح أوعية الاحتواء الأولية التي تحتوي على مياه**. سيتم إجراء تحقيق ووضع المعدات اللازمة لوقف تسرُّب المياه من أوعية الاحتواء، ثم القيام بعد ذلك برصد مستويات منسوب المياه والحفاظ عليها حسبما يلزم للعمليات اللاحقة.

(٣) **تحديد خصائص الظروف داخل أوعية الاحتواء الأولية**. تتطلَّب إزالة حطام الوقود تعيين المواضع الدقيقة لقطع حطام الوقود. وسوف تُهيأ المعدات اللازمة لفحص الظروف داخل أوعية الاحتواء، وسوف يتم الحصول على المعلومات الضرورية، ومنها مثلاً معلومات عن مواضع قِطع حطام الوقود وتوزُّعها وأشكالها.

(٤) **تحديد خصائص الظروف داخل أوعية ضغط المفاعلات**. وتشمل هذه الخطوة توزُّع حطام الوقود ومستويات النشاط الإشعاعي في الأوعية، والنسَق الفيزيائي لأوعية الضغط المتضررة.

(٥) **تطوير التكنولوجيات اللازمة لإزالة حطام الوقود**. سوف تُحدَّد الشروط المسبَّقة لإزالة حطام الوقود، مما يؤدي إلى تطوير التكنولوجيات والمعدات اللازمة لفتح المفاعلات، وإزالة العوائق البنيوية داخل أوعية ضغط المفاعلات، ولإزالة حطام الوقود.

(٦) **التصرُّف في المياه**. ما بعد التبريد والتحكُّم البوروني، سوف يكون من الضروري التصرُّف في المياه بدقة، تبعاً للتقدُّم في النهج المتبع في إزالة حطام الوقود. وعلى سبيل المثال، سوف يكون من الضروري توفير وسائل إضافية لإزالة المواد الجُسيمية التي تصبح عالقة في المياه نتيجة لعمليات الإزالة.

(٧) **تعبئة وتغليف حطام الوقود ونقله وتخزينه**. بإزالة الحطام من أوعية ضغط المفاعلات وأوعية الاحتواء الأولية، سوف يصبح من الضروري وضعه في حاويات مدرَّعة. ثم سوف يكون من الضروري إزالة الحاويات من مباني المفاعلات ووضعها في مستودع تخزين تمهيدي في موقع فوكوشيما دايتشي ريثما يُتَّخذ قرار نهائي بشأن التخلُّص منها.

(٨) **منع حدوث حَرجيّة نووية لحطام الوقود**. سوف تُجرى تقييمات، وسوف تُهيأ تقنيات للرصد من أجل الحيلولة دون أي إمكانية لحدوث حالة من الحرجية النووية داخل الحطام.

(٩) **حصر ومراقبة المواد النووية في حطام الوقود**. ينبغي إجراء حصر محاسبي للمواد الانشطارية، طبقاً لاتفاق الضمانات المبرم بين اليابان والوكالة وطبقًا للقانون الداخلي الياباني. ونظرًا لعدم إمكانية تطبيق الطرائق القياسية على حطام الوقود، سوف تُوضع تدابير للحصر المحاسبي قبل إزالة حطام الوقود من المفاعلات.

وسوف يُزال حطام الوقود أثناء وجوده مغموراً في الماء، مما يوفِّر تدريعاً واقياً ويقلِّل إلى أدنى حدٍّ من الانطلاقات الإشعاعية إلى الهواء. ومن ثم فإنَّ ارتفاع مستويات الإشعاع والتلوّث، وعدم العلم حالياً بتوزُّع وخواص حطام الوقود، يعنيان كلاهما أنه سوف يكون من الضروري القيام بالكثير من العمل باستعمال معدات تُشغَّل عن بُعد. وسوف يكون من الضروري أيضاً تعديل الاستراتيجيات اللازمة لإزالة حطام الوقود، كلما أُتيحت البيانات بخصوص ظروف الوقود وحطام الوقود، وكذلك تعديل خطط تصميم وهندسة وتركيب المعدات اللازمة.

٥-٢-٥- الإخراج من الخدمة والحالة النهائية للموقع

في الظروف المحيطة الاعتيادية (غير ظروف الحوادث)، تُعرَّف وتُوصف الحالة النهائية لأيِّ محطة قوى نووية في طلب الحصول على الترخيص والوثائق الداعمة اللاحقة. وثمة استراتيجيتان بشأن بلوغ الحالة النهائية لأيِّ محطة متاحتان عموماً، وهما: التفكيك الفوري، والتفكيك المرجأ، والذي يُشار إليه أحياناً بأنه تخزين مأمون. وأما في الظروف المحيطة الاستثنائية، مثلاً عقب وقوع حادث نووي، فمن الجائز أن يُنظرَ أيضاً في استراتيجية الإقْبار [292].

وقد يؤدي حادث نووي إلى إبطال صلاحية الخطط المسبقة بشأن الإخراج من الخدمة، ويُعزى ذلك، على سبيل المثال، إلى ضرورة تحقيق استقرار بُنى المرافق النووية ونُظمها ومكوّناتها، قبل أن يتسنّى إعداد الخطة الجديدة للإخراج من الخدمة. وذلك لأنَّ خطط الإخراج من الخدمة وإزالة حطام الوقود، والخيارات المتاحة بشأن الحالة النهائية الأخيرة للموقع، تتوقَّف كلها على طبيعة الحادث، ومن شأنها أن تشمل النظر في الوضع الراهن الخاص بما يلي: المخلَّفات النووية، والجُسيمات والمواد المشعَّة المتبقية داخل المرافق؛ والوقود المستهلَك وحطام الوقود المخزون؛ والنفايات المشعَّة الصلبة، والمياه المعالجة المخزونة [293]. كما أنَّ اهتمامات الجهات المعنية المستخلَصة، مثلاً، من خلال عملية تشاور عمومية مناسبة، سوف تؤثِّر أيضاً في تخطيط وتنفيذ عملية الإخراج من الخدمة.

لا يمكن حاليًا التنبؤ بالحالة النهائية لمحطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية [291]. ويمكن الإشارة إلى أنَّ أيًّا من المحطات الثلاث في الأماكن الأخرى من العالم، التي شهدت أعنف حالات تلف في الوقود في حوادث سابقة لم تبلغ بعدُ الحالة النهائية الأخيرة لإخراجها من الخدمة تمامًا [293] (الإطار ٥-٣).

الإطار ٥-٣- الحالة الراهنة لإخراج المرافق النووية المتضررة من الخدمة

المرافق الثلاث في الأماكن الأخرى، التي شهدت أعنف حالات تلف في الوقود في حوادث سابقة هي في: ويندسكيل (المملكة المتحدة)، وثري مايل آيلاند (الولايات المتحدة الأمريكية)، وتشرنوبيل (الاتحاد السوفياتي السابق). وكانت حالتها في وقت كتابة هذا التقرير كما يلي:

كان ركام مرفق ويندسكيل المتضرّر في حادث وقع في عام ١٩٥٧، في طور العناية والصيانة، بمقتضى خطةٍ لوضعه في خزن مأمون في غضون عدة سنوات مقبلة، على أن يتم إخراج المرفق نهائياً من الخدمة بحسب ما هو مخطَّط له حوالي عام ٢٠٥٠.

كانت الوحدة المتضرّرة في محطة ثري مايل آيلاند للقوى النووية، في حادث عام ١٩٧٩ في وضعية خزن مأمون، وكانت هناك خطة لاستكمال عملية إخراجها من الخدمة واستصلاح الموقع في غضون الـ٢٠ سنة المقبلة.

كانت الوحدة ٤ من محطة تشرنوبل، المتضرّرة بعنف في الحادث الذي وقع في عام ١٩٨٦، بصدد عملية وضعها في ظرف تخزين مأمون، وكان من المتوقع إخراجها نهائياً من الخدمة حوالي عام ٢٠٥٠.

وإنَّ اتخاذ قرار نهائي بشأن الحالة النهائية المراد بلوغها في موقع فوكوشيما داييتشي سوف يحتاج إلى النظر في عوامل كثيرة، بما فيها استخدام الأراضي في المستقبل، والجرعات الإشعاعية التي يُحتمل أن يتعرَّض لها العاملون الذين يقومون بإخراج المحطة من الخدمة، والنفايات التي تنتج من خلال ذلك، والخيارات المتاحة بشأن تكييف النفايات والتخلُّص منها.

٥-٣- التصرُّف في المواد الملوّثة والنفايات المشعَّة

يؤدي تحقيق استقرار ظروف محطة قوى نووية متضرّرة وإزالة التلوّث في الموقع وجهود الاستصلاح في المناطق المحيطة به إلى توليد كميات كبيرة من المواد الملوّثة والنفايات المشعّة. وتولدت داخل الموقع مقادير كبيرة من المواد الصلبة والسائلة الملوثة وكذلك نفايات مشعة، عقب مختلف أنشطة التعافي.[١١٤] والتصرّف في مواد من هذا القبيل – بما تنطوي عليه من خواصّ فيزيائية وكيميائية وإشعاعية متباينة – عملية معقَّدة وتتطلب جهوداً ضخمة.

وفي أعقاب حادث فوكوشيما داييتشي، كانت هناك صعوبات في إنشاء مواضع لتخزين المقادير الكبيرة من المواد الملوّثة الناتجة عن أنشطة الاستصلاح خارج الموقع. وقد أُنشئت عدَّة مئات من مرافق التخزين المؤقَّت في مناطق المجتمعات المحلية المحيطة. وتواصلت الجهود المبذولة من أجل إنشاء مرفق تخزين تمهيدي.

٥-٣-١- التصرُّف في النفايات

تولّد مقدار ضخم من النفايات (تُعرف باسم "نفايات الكوارث") من جرَّاء الهزّة الأرضية وأمواج تسونامي العاتية؛ وبعض هذه النفايات تلوّث (في الأغلب بالسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧) نتيجة لحدوث انطلاقات من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. كما أدَّت أنشطة تحقيق الاستقرار في الموقع إلى زيادة الرصيد من المواد الملوّثة ومن النفايات المشعّة الصلبة والسائلة، مما يحتِّم بالضرورة إدارة مراحل التصرُّف فيها، وفي الوقت نفسه، أدَّت أنشطة الاستصلاح خارج الموقع إلى زيادة مقدار المواد الملوّثة.

الإطار ٥-٤- النفايات المشعَّة

المواد المشعّة هي مواد لا يُرتقب استعمالها لاحقاً لأيّ غرض آخر، وتشتمل على نويدات مشعّة بنسبة محتوى أو تركّز أعلى من مستوى محدد. ويُعتبر التخلّص منها المنتهى المعترف به دولياً فيما يخصّ التصرف في المواد المشعّة. غير أنَّ تخزين بعض النفايات المشعّة لفترات من عشرات السنين كثيراً ما يكون ضرورياً في حين يجري تطوير مرافق التخلُّص. وهنالك بعض الأنواع المعيّنة من النفايات المشعّة (النفايات الضعيفة الإشعاع) التي يمكن التخلُّص منها في مرافق تحتية للتخلُّص من النفايات "قريبة من سطح الأرض".

ويمثّل التصرُّف في كميات كبيرة من النفايات المتباينة الخواصّ الفيزيائية والكيميائية والإشعاعية (أي مراحل ما قبل المعالجة، والمعالجة، والتكييف، والنقل، والتخزين، والتخلُّص منها في المستقبل) تحدِّياً. وكان لا بدّ من تهيئة المعدات والأنشطة والمرافق أو تعديلها أو كليهما معاً، تحت وطأة ظروف محيطة صعبة وزادت في صعوبتها خسارةُ البنية الأساسية بسبب الهزّة الأرضية وأمواج تسونامي العاتية وارتفاع مستويات الإشعاع. كما كان من الضروري أيضاً إجراء تعديلات على التشريعات وكذلك على النهج المتَّبع بشأن التصرُّف في النفايات [124, 266, 278, 294].

٥-٣-٢- الأنشطة خارج الموقع

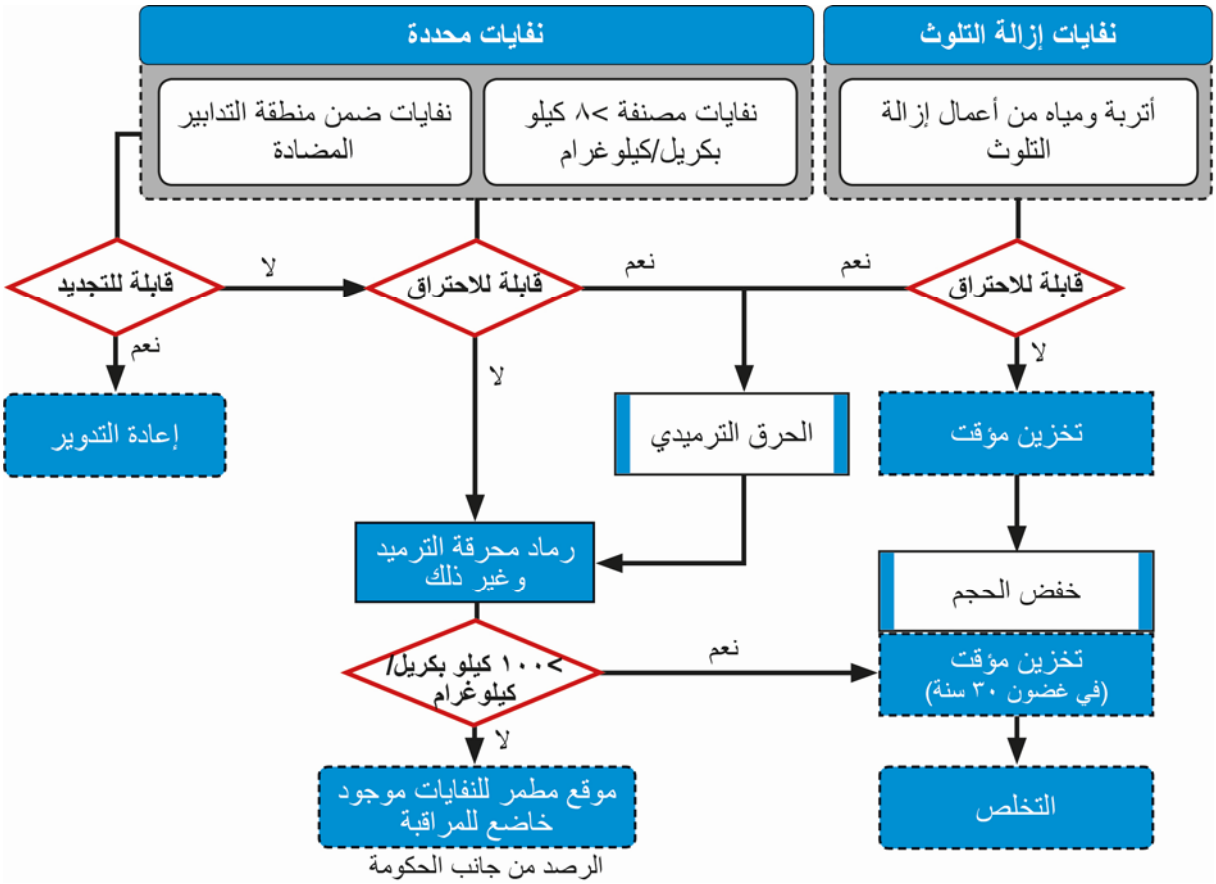
استُهلَّ الاستصلاح خارج الموقع لهدف منشود هو الحدّ من التعرُّض للجرعات الخارجية. وشملت إجراءاتُ العمل الاستصلاحية إزالةَ التربة السطحية والغطاء النباتي السطحي، وإزالة التلوث من المناطق العمومية والسكنية. وقد تأثّرت سعة المساحة التي تحتاج إلى الاستصلاح بمعايير إشعاعية ومستويات العمل المعتمدة، والتي انطوت على تداعيات بشأن مقدار المواد الملوثة التي تستلزم تصريفها.

---

[١١٤] يتوقف الفرق بين المواد الملوثة والمواد المشعة على النويدات المشعة وتركيز النشاط الإشعاعي المصاحب لتلك المواد.

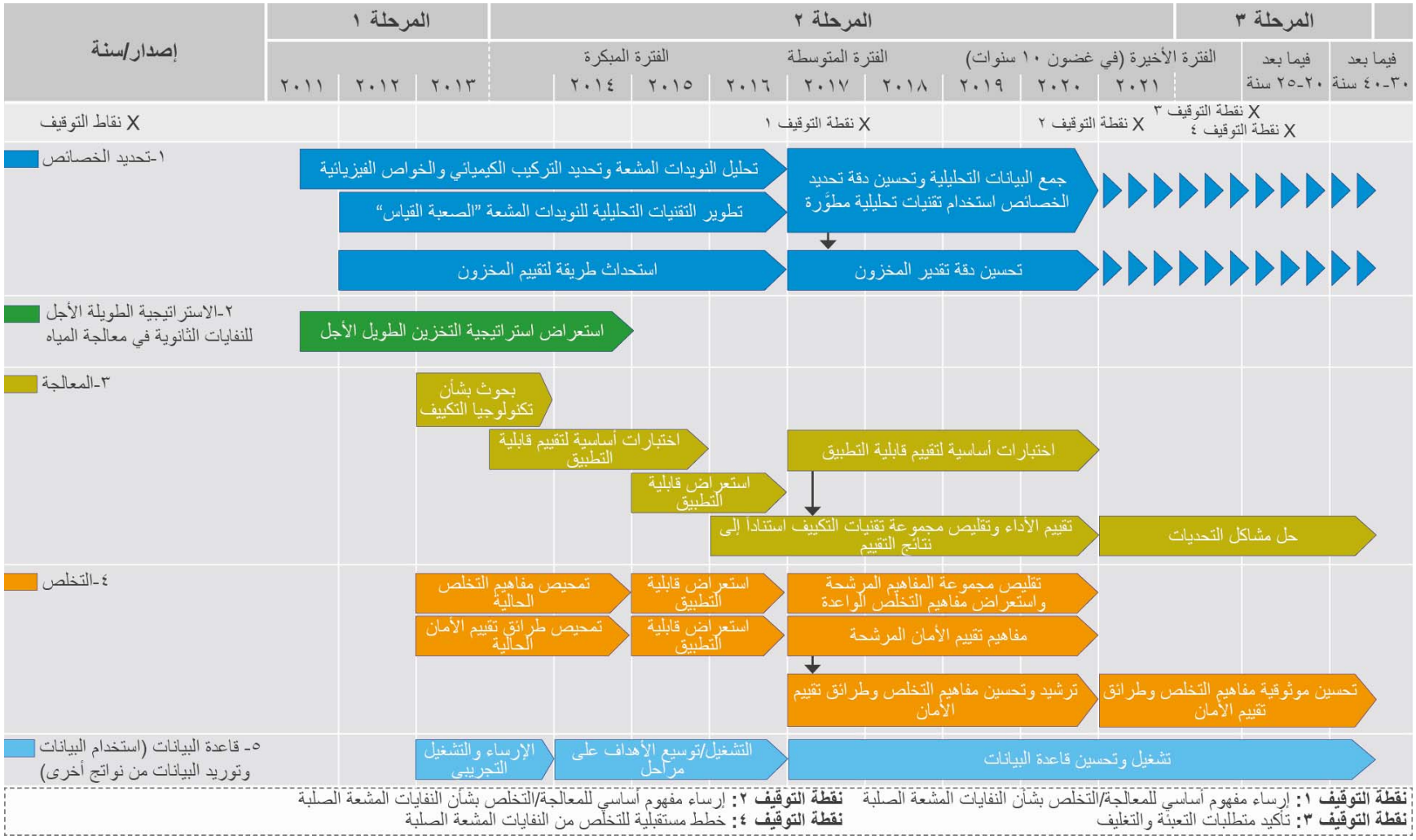
وعلى وجه العموم، فإنَّ اعتماد مستوى مرجعي منخفض يؤدِّي إلى توليد كمية أكبر من المواد الملوّثة. وتشير التقديرات إلى أنَّ الركام المكدَّس من الأتربة وغيرها من المواد الملوثة الناتجة عن أنشطة الاستصلاح بعد الحادث، وسيتراوح مقداره بين ١٦ و٢٢ مليون متر مكعب بعد تقليص حجمه بحرق النباتات والأشجار [273].

وتُوضَّح في الشكل ٥-٦- مراحلُ مسار عملية التصرُّف في النفايات المتَّبعة في محافظة فوكوشيما. وتشمل مراحل التصرُّفُ في النفايات المولّدة في سياق أنشطة الاستصلاح جمعَ هذه النفايات في مرافق تخزين بالقرب من المواضع المحددة لإزالة التلوّث منها. وقد أُنشئت عدة مئات من مرافق التخزين التمهيدي. وبعد التخزين المؤقَّت، سيتم نقل هذه النفايات إلى داخل مرفق الخزن التمهيدي. وانطوت بعض المواد على تلوّث بمستويات منخفضة بدرجة كافية لكي تتيح الإمكانية لاستخدام البنية الأساسية القائمة للتخلُّص من النفايات الصلبة البلدية (ومنها مثلاً مرافق الحرق والترميد ومطامِر النفايات التابعة للبلديات). غير أنه ثبت أنَّ العملية الإجرائية للحصول على موافقة البلديات على استخدام مرافق الترميد التقليدية من أجل تقليص حجم المواد الملوّثة خارج الموقع، هي عملية صعبة.



الشكل ٥-٦- مخطط سير العمل بشأن إدارة مراحل التصرُّف في النفايات المحدَّدة ونفايات إزالة التلوُّث في محافظة فوكوشيما [295].

وقد حدثت حالات تأخُّر في اختيار المواقع لمرافق الخزن المؤقت والتمهيدي وكانت مسألة الحصول على موافقة السكان المحليين عاملاً يؤدِّي إلى حالات التأخُّر في تحديد تلك المواقع. ولكنْ عقب إجراء مناقشات بين مسؤولي الحكومة المركزية والحكومات المحلية في البلد والمقيمين وأصحاب الأراضي المحليين، قُبلت خطة إنشاء مرفق خزن تمهيدي في كلٍّ من بلدة أوكوما في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٤ وبلدة فوتابا في كانون الثاني/يناير ٢٠١٥. وفي كانون الثاني/يناير ٢٠١٥، أكَّدت وزارةُ البيئة الخطتين والترتيبات الخاصة بالنقل على نطاق تجريبي للأتربة الملوّثة إلى مرفق الخزن التمهيدي اعتباراً من آذار/مارس ٢٠١٥ [273]؛ واستُهلت عمليات النقل هذه لأغراض الاختبار، في ١٣ آذار/مارس ٢٠١٥.



الشكل ٥-٧- جزء من استراتيجية إدارة مراحل التصرّف في النفايات في الموقع [291].

٥-٣-٣- الأنشطة في الموقع

في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، نشأت مقادير كبيرة من المواد الملوّثة الصلبة والسائلة وكذلك من النفايات المشعّة، عقب مختلف أنشطة التعافي. وعلى سبيل المثال، حتى ٣٠ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٤، كان قد خُزِّن في الموقع ٩٠٠ ١٣١ م^3 من الحطام و٧٠٠ ٧٩ م^3 من أنقاض الأشجار [296, 297]. وقد تطلَّب نشوء هذه المقادير الكبيرة من المواد الملوّثة والنفايات المشعّة وضع استراتيجيات فعَّالة بشأن إدارة مراحل التصرّف في النفايات. وعلى وجه الخصوص، كانت هناك حاجة إلى تهيئة مرافق من أجل معالجة وخزن مئات من الآلاف من الأمتار المكعبة من المياه الملوّثة والمعالَجة، وكذلك من أجل النفايات الصلبة الناتجة عن عمليات المعالجة وإخلاء مساحات كبيرة من الأراضي من الشوائب. ويُوضّح في الشكل ٥-٧ جزء من استراتيجية التصرّف في النفايات في الموقع، بما في ذلك مرافق خزن ومعالجة المياه.

وثمة حاجة مستمرَّة إلى توافر قدرات استيعابية لخزن مختلف أنواع أبخرة النفايات الصلبة والسائلة [الشكل ٥-٨]. وتبعاً لذلك، أصبح تقليص حجم النفايات أحد المكوّنات الهامة في إدارة مراحل التصرّف في النفايات في الموقع، وذلك مثلاً عن طريق اجتناب نشوء النفايات، وإقامة منشآت للحرق والترميد، وإعادة استخدام المواد وإعادة تدويرها. وكان من المتوقّع نشوء نفايات إضافية من عملية إخراج محطة القوى النووية من الخدمة [298]. وستتوقَّف أنواع ومقادير النفايات الناتجة على النهج المعتمد.

الشكل ٥-٨- منظر من الجو لمنطقة داخل الموقع يبيّن صهاريج خزن المياه [301].

وقد بُذلت جهود من أجل نقل النفايات المشعّة من حدود منطقة الموقع بغية الحدّ من معدَّلات الجرعات في تلك المنطقة الحدودية بحيث لا تتجاوز ١ ملّي سيفرت في السنة. ولم يكن لهذه الأنشطة أي تأثير على تعرُّض الجمهور للإشعاعات، إذ لا يوجد هناك أي أناس في المنطقة الحدودية المحيطة بالموقع [299].

غير أنَّ التصرّف في النفايات في الموقع يثير الكثير من التحدّيات المعقّدة، ممّا يتطلب المزيد من أنشطة البحث والتطوير. وحيثما يتم اكتساب قدرات جديدة، سوف يكون من الضروري التفكير في استراتيجية للتخلُّص من النفايات في الموقع، على أن تشمل هذه الاستراتيجية اتخاذ قرارات على المدى القريب وعلى المدى البعيد [300].

٥-٤- إنعاش المجتمعات المحلية ومشاركة الجهات المعنية

الحادثُ النووي، وكذلك تدابيرُ الوقاية من الإشعاعات المستحدَثة في حالتي الطوارئ والتعافي بعد الحادث كلتيهما، كان لهما عواقب وخيمة على حياة السكان المتضرِّرين منهما. فقد اشتملت تدابير الإجلاء وإعادة التوطين، والقيود المفروضة على الأغذية، على مشقّة عاناها الناس المتضرِّرين منها. غير أنَّ مشاريع إنعاش وإعادة الإعمار التي استُهلَّت في محافظة فوكوشيما قد أُعدَّت انطلاقاً من فهم للعواقب الاجتماعية والاقتصادية التي سبَّبها الحادث. وتعالج هذه المشاريع لقضايا عدَّة منها مثلاً إعادة إعمار البنية الأساسية، وإنعاش المجتمعات المحلية ودعمها والتعويض عليها.

والتواصل مع الجمهور بشأن أنشطة التعافي أمر أساسي جداً لبناء الثقة. ومن أجل التواصل بفعالية، من الضروري أن يفهم الخبراءُ المعلومات التي يحتاجها السكان المتضرِّرون، وأن يقدِّموا معلومات يمكن فهمها عبر الوسائل ذات الصلة. وقد تحسَّنت أساليب التواصل في أعقاب الحادث، وأصبح السكان المتضرِّرون يشاركون أكثر فأكثر في عملية اتخاذ القرارات وفي تدابير الاستصلاح.

لقد أثَّر الحادثُ الذي وقع والتدابيرُ الوقائية المستحدَثة في حالتي الطوارئ والتعافي كليهما على طريقة حياة السكان في المناطق المتضرِّرة. وبحلول ٣٠ كانون الثاني/يناير ٢٠١٥، بلغ عدد الأناس الذين أُجلوا من المنطقة زهاء ٠٠٠ ١١٩ شخص، مقارنةً بالذروة التي بلغ فيها العدد زهاء ٠٠٠ ١٦٤ شخص في حزيران/يونيه ٢٠١٢. علماً بأنَّ وطأة المشقَّات المتعلقة بالإجلاء وإعادة التوطين والقيود المفروضة على الأغذية كبيرة [268, 269].

فقد أدَّت الهزة الأرضية وأمواج تسونامي العاتية والحادث معاً إلى تدمير مرافق البنية الأساسية (بما فيها المدارس والمستشفيات والمنشآت التجارية) أو إلى تدهورها أو إهمالها، وكان لتلك الأحداث تأثير على الأعمال والتجارة، وجلبت معها تغييرات ديمغرافية من خلال إجلاء أعداد كبرى من الناس. وذكرت التقارير أن من المرجَح أن تبقى الأُسر الشابة في المناطق التي أُجليت إليها، وأنَّ من المرجَح أن تعود الأُسر المتقدِّمة في السن إلى منازلها [302]. ولكنَّ خطط التعافي والإنعاش على الصعيدين الوطني والمحلي تقرّ بأهمية إعادة الإعمار من الناحيتين المادية والاجتماعية والاقتصادية، وتعالج قضايا عدَّة، منها مثلاً إعادة إعمار البنية الأساسية ودعم المجتمعات المحلية والتعويض عليها [269].

وأما التحدِّيات الخاصة فيما يخصّ الناس الذين يعيشون في أماكن إقامة مؤقتة فتنطوي على مجموعة متنوعة من قضايا الرفاهية الجسدية والذهنية العامة، واقترنت بارتفاع مستويات البطالة والصعوبات المرتبطة بالإقامة المؤقّتة [239]. ومع أنَّ العدد الإجمالي للذين أُجلوا ويعيشون الآن في أماكن الإقامة المؤقتة نتيجةً للهزة الأرضية والتسونامي والحادث النووي لا يُعرَف بدقة، فقد، بيد أنه بحلول حزيران/يونيه ٢٠١٣ أُنشئت وحدات سكنية

مؤقتة بلغ عددها ٨٠٠ ١٦ وحدة، وكان يعيش قرابة ٠٠٠ ٢٤ أُسرة في أماكن إقامة استأجرتها حكومة المحافظة المحلية [269]. وإضافةً إلى ذلك، كانت هناك خطط لبناء ٥٨٦ ٢ وحدة من وحدات الإسكان العمومي الدائم حتى عام ٢٠١٥ من أجل الأُناس المتضرِّرين من جرَّاء الهزة الأرضية والتسونامي. وفيما يخصّ الأناس الذين أُجلوا في سياق التصدِّي للحادث، فقد وُضِعت خطط لبناء ٨٩٠ ٤ وحدة إسكان عمومي دائم [283].

٥-٤-١- العواقب الاقتصادية الاجتماعية

أدَّى الإجلاء إلى خسارة في المزارع ومنشآت الأعمال التجارية. وتوقّف صيد الأسماك في نطاق مسافة ٣٠ كم من الموقع (تقلَّصت إلى ٢٠ كم في نهاية أيلول/سبتمبر ٢٠١١). كما توقَّفت الزراعة وغيرها من الأنشطة التجارية في نطاق مساحة تبلغ نحو ٧٠٠ كم مربع خارج منطقة إزالة التلوّث الخاصة [269, 303, 304].

وشُوهدت أيضاً عواقب اقتصادية اجتماعية في قطاع الزراعة وغيره من قطاعات منشآت الأعمال خارج منطقة إزالة التلوّث الخاصة ومنطقة مسح التلوّث المكثّف. وإضافةً إلى خسارة وظائف العمل وسُبل المعيشة لدى الأناس المتضرِّرين، فإنَّ القيود المفروضة على الأغذية، وخسائر التصدير التي تشمل الأغذية والسلع الاستهلاكية، وتكاليف الرصد بشأن إثبات الامتثال للمعايير الإشعاعية، ودفع تعويضات للأناس المتضرِّرين، كان لها أثرها أيضاً. وأما العواقب الاقتصادية الاجتماعية غير المباشرة فتشمل العواقب الناشئة عن فقدان ثقة المستهلكين، لا في المنتجات الغذائية فقط، بل كذلك في السلع الأساسية من المناطق المتضرِّرة، وفي منشآت الأعمال التجارية هناك [269, 303, 305].

وقد كان لوقوع الهزّة الأرضية وأمواج التسونامي العاتية والحادث النووي مجتمعة معاً أثر مباشر في الاقتصاد الياباني. فقد انخفضت الصادرات بنسبة ٢,٤٪ في نيسان/أبريل ٢٠١١، مقارنةً بالمستوى الذي بلغته في نيسان/أبريل ٢٠١٠. وفي الوقت نفسه، ازدادت الواردات، وبخاصةٍ من أنواع الوقود والكيمياويات والأغذية، مما نتج عنه عجز في الميزان التجاري في الفترة نيسان/أبريل وأيار/مايو ٢٠١١ [303]. وبقيت عمليات استيراد الوقود الأُحفوري على مستوى أعلى في وقت كتابة هذا التقرير [306].

ومع أنَّ اليابان لم تكن في وقت وقوع الحادث طرفاً في أيٍّ من اتفاقيات المسؤولية عن الأضرار النووية (إذ انضمَّت إلى اتفاقية التعويض التكميلي عن الأضرار النووية في ١٥ كانون الثاني/يناير ٢٠١٥)، فقد كان التشريع الذي سُنَّ في عام ١٩٦١ متَّسقاً مع المبادئ الأساسية للمسؤولية النووية حسبما تتضمنه تلك الاتفاقيات. وبمقتضى التشريع المشار إليه، فإنَّ شركة تيبكو كانت هي المسؤولة حصراً عن الأضرار النووية التي سبّبها حادث فوكوشيما داييتشي [307]. وكانت مسؤوليتها غير محدودة من حيث المقدار. وعقب الحادث، لم تُمنح شركة تيبكو أيّ إعفاء من المسؤولية من جانب الحكومة والبرلمان بناءً على الافتراض بأنَّ شرط الإعفاء الذي يتعلق بكارثة طبيعية فادحة كما هو وارد في القانون الخاص بالتعويض عن الأضرار النووية لم يكن قابلاً للتطبيق في هذه الحالة. وقد نُفِّذت وسائل شتى لإتاحة الإمكانية لشركة تيبكو لكي تفي بالتزاماتها تُجاه ضحايا الحادث، بما في ذلك دفع تعويضات مؤقتة كتدبير خاص بالحالة الطارئة، وتقديم دعم مالي لشركة تيبكو من جانب مؤسسة تسهيل التعويض عن الأضرار النووية والإخراج من الخدمة، وانضمام هذه المؤسسة إلى شركة تيبكو بصفة المساهم المسيطر في شركة تيبكو. وعلاوةً على ذلك، فإنَّ إنشاء لجنة تسوية المنازعات بالمصالحة بشأن التعويض عن الأضرار النووية، وإصدار المبادئ التوجيهية غير الملزِمة قانونياً، قد وفَّرا آليةً للتسوية الودية الفورية خارج نطاق المحكمة بشأن التعويضات عن الأضرار النووية.

وتنطبق السياسة العامة المقرَّرة بشأن التعويض على الذين شملتهم أوامر الإخلاء، وتشمل أيضاً التأثيرات على سُبل المعيشة وطريقة الحياة وخسارة الأرباح من جراء القيود المفروضة وفقدان الثقة لدى المستهلكين،

والتغييرات البنيوية فيما يخصّ الناس الباقين في المنطقة. وإضافةً إلى ذلك، ثمة بنود احتياطية بشأن الآباء والأمهات من ذوي الأُسر التي تضم أفراداً صغار السن وبشأن النساء الحوامل [308].

ووفقاً للمبادئ التوجيهية المقرَّرة في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١، تلقّى الأشخاص الخاضعون للإجلاء تعويضات بمقدار ١٠٠ ٠٠٠ ين ياباني لكل شخص في الشهر. وسيُدفع تعويض إضافي يقدر بنحو ٩٠٠ ٠٠٠ ين ياباني إلى أولئك العائدين للعيش في المناطق المتضرِّرة في غضون سنة بعد رفع أمر الإجلاء [309].

٥-٤-٢- الإنعاش

نُفِّذ عدد من الأنشطة للحفز على إنعاش محافظة فوكوشيما، بدعمٍ حكومي ومحلي. ويشمل ذلك إعادة إعمار مرافق البنية الأساسية والإسكان والنقل. وتركّز بعض الإجراءات على اكتساب ثقة المستهلكين مجدداً في المنتجات، وفي الوقت نفسه على تعزيز الافتخار بالانتماء المحلّي وكذلك السياحة. واعترافاً بأنَّ توافر العمل والعمالة هو أيضاً عامل يشكِّل قوة دافعة لعودة السكان المقيمين (أو لتوطين سكان جُدد)، وتركِّز مبادرات أخرى على إعادة بناء منشآت الأعمال التجارية وكذلك على تهيئة فرص تجارية جديدة.

وهنالك عدد من المبادرات المعنية بالإنعاش والأنشطة المعنية بإعادة الإعمار المرتبطة بالتعافي، تتدرج من المبادرات على مستوى الحكومة المحلية إلى المبادرات التي تقوم بها المنظمات غير الحكومية والمجتمعات المحلية. وقد أنشأت حكومةُ اليابان وكالةً لإعادة الإعمار؛ واستهلَّت محافظةُ فوكوشيما أنشطةً مختلفة شملت إنشاء مركز الإبداع البيئي [269 ,234]؛ وأقامت شركة تيبكو في عام ٢٠١٣ المقرّ الرئيسي لإدارة إنعاش فوكوشيما. والهدف من المشاريع كلها هو الجمع بين إجراءات الوقاية من الإشعاعات والجوانب الاجتماعية ذات النطاق الأوسع، ومنها مثلاً إنعاش البنية الأساسية، ومشاركة الجمهور، والتعويض بالنسبة إلى المقرّ الرئيسي لإدارة إنعاش فوكوشيما [310].

وتتباين الإجراءات عبر أنحاء المحافظة، واعتمد ذلك في كثير من الأحيان على اشتراك الزعماء المحليين الفعلي وعلى التحدِّيات المختلفة ضمن المنطقة. وتشمل الأمثلة على مبادرات الإنعاش الناجحة التعاون بين مزارعي أشجار الدرَّاق وموزِّعي المنتجات وأوساط الصناعة الغذائية من أجل استعادة ثقة الجمهور في الأغذية المنتَجة في محافظة فوكوشيما [269, 311].

٥-٤-٣- مشاركة الجهات المعنية والتواصل معها

ازدادت مشاركة الجهات المعنية، وتحسَّنت استراتيجيات التشاور معها واشتراكها الفعلي، مع تقدُّم مسار أعمال الاستصلاح والتعافي. وقدَّم التصدِّي للحادث عدداً من الأمثلة التي تظهر منافع إشراك السكان المتضرِّرين في أنشطة التعافي، بدءاً من التشاور والحوار وحتى أعمال الاستصلاح (ما يُسمى تدابير المساعدة الذاتية).

كما إنَّ إتاحة معلومات مفتوحة للجمهور والتواصل معه بصورة فعالة جزء أساسي من عملية الإنعاش. وقد افتُتح مركز محوري للمعلومات عن أعمال إزالة التلوث خاص بالمنطقة (يُسمى الساحة العامة للمعلومات عن أعمال إزالة التلوّث) في مدينة فوكوشيما في كانون الثاني/يناير ٢٠١٢، في إطار مشروع مشترك بين محافظة فوكوشيما ووزارة البيئة [312].

وتشمل أنشطة أخرى في مجال التواصل على الصعيد المحلي إجراء حوارات بين الخبراء والجمهور وإسداء مشورة محددة بشأن إجراءات المساعدة الذاتية. وساعدت هذه الأنشطة على استعادة التواصل مع المقيمين في محافظة فوكوشيما، وإعادة بناء الثقة لديهم.

ويرد في الشكل ٥-٩ مخطط بياني لسير العمل في تنفيذ عملية الاستصلاح وما يقترن بها من التفاعلات مع الجهات المعنية. وقد تضمَّنت كل الخطوات المتَّبعة في وضع الخطط وتنفيذها مشاركة الجهات المعنية والتشاور معها. وأما بالنسبة إلى استصلاح الأراضي ذات الملكية الخصوصية، فينبغي التماس الموافقة من أصحاب الأراضي قبل الشروع في أي أنشطة استصلاحية.

في أيِّ حادث نووي، تؤدي وسائط الإعلام، التقليدية منها والجديدة، دوراً هاماً في التواصل مع الجمهور. وقد تميَّز حادث محطة فوكوشيما داييتشي بتغطية إعلامية عالية المستوى، من خلال الإنترنت ووسائط التواصل الاجتماعي الإعلامي، وكذلك في الطور الأولي من خلال البثّ المستمر للنشرات الإعلامية التلفزيونية والإذاعية. وقد دامت التغطية الإعلامية للحادث سبعة أشهر، مع التركيز في الأكثر على المشاكل المرتبطة بموقع الحادث، وكذلك على إجراءات العمل الوقائية التي اتخذتها السلطات اليابانية. وكثَّفت وسائطُ التواصل الاجتماعي الإبلاغ عن الحادث، وكذلك نشر وجهات النظر لدى الأفراد والمنظمات غير الحكومية. وقد أُتيح مقدار ضخم من المعلومات المتباينة من حيث الجودة ومستويات المصداقية [310].

وكان خبراء الأمان الإشعاعي في حاجة إلى معرفة نوع المعلومات التي يطلبها الجمهور وإلى تقديم هذه المعلومات بطريقة مفهومة. والأسئلة الحرجة التي كانت المجتمعات المتضرِّرة ووسائط الإعلام تطرحها هي أسئلة كانت تركِّز على مستويات الإشعاعات التي تُعدُّ "آمنة" [314].

الشكل ٥-٩ - مخطط بياني لسير العمل بشأن تنفيذ عملية الاستصلاح وبشأن التشاور مع المقيمين [313].

٥-٥- الملاحظات والدروس

جُمّع عدد من الملاحظات والدروس نتيجة لتقييم الأنشطة المضطلع بها بعد الحادث.

— **التخطيط قبل الحادث للتعافي بعد الحادث أمر ضروري جداً لتحسين عملية اتخاذ القرارات تحت الضغط في الحالة التي تطرأ بعد الحادث مباشرة. ولا بدَّ من أن يتم مسبّقاً إعداد استراتيجيات وتدابير على الصعيد الوطني بشأن الاستصلاح بعد الحادث لتكون جاهزة مسبقًا وذلك للتمكّن من تنفيذ برنامج فعَّال ومناسب للاستصلاح الشامل في حالة وقوع حادث نووي. وينبغي أن تشتمل هذه الاستراتيجيات والتدابير على إنشاء إطار قانوني ورقابي؛ واستراتيجيات استصلاح عامة ومعايير تُعنى بمستويات الجرعات الإشعاعية المتبقية والتلوث؛ وخطة لتحقيق الاستقرار في المرافق النووية المتضرِّرة وإخراجها من الخدمة؛ واستراتيجية عامة للتصرف في الكميات الكبيرة من المواد الملوَّثة والنفايات المشعة.**

ينبغي أن تشتمل هذه الاستراتيجيات والتدابير على ما يلي:

- إنشاء إطار قانوني ورقابي يبيّن تحديداً أدوارَ ومسؤوليات مختلف المؤسسات التي من شأنها أن تكون مشاركة فعلاً في التنفيذ. وينبغي أن يُعنى هذا الإطار بجوانب الاستصلاح خارج الموقع، وتحقيق استقرار الظروف في الموقع والأعمال التحضيرية لإخراج الموقع من الخدمة، والتصّرف في المواد الملوثة والنفايات المشعّة، وإنعاش المجتمع المحلي، ومشاركة الجهات المعنية.
- وضع استراتيجيات ومعايير عامة بشأن الاستصلاح (مستويات مرجعية وإجراءات عمل مستنبَطة) فيما يخصّ الجرعات الإشعاعية المتخلّفة ومستويات التلوّث.
- وضع خطة لتحقيق استقرار الظروف في موقع المرفق النووي المتضرّر والأعمال التحضيرية لإزالة التلوّث منه.
- وضع استراتيجية عامة بشأن التصرّف في الكميات الكبيرة من المواد الملوّثة والنفايات المشعّة، ودعمها بتقييمات عامة للأمان فيما يخصّ مرافق الخزن والتخلّص من هذه المواد.
- الحرص على وجود قدرٍ كافٍ من المرونة لضمان إمكانية تكييف إدارة ظروف ما بعد الحادث استجابةً للظروف المتغيّرة والمعلومات والخبرات المكتسبة.

— **ينبغي أن تضع استراتيجياتُ الاستصلاح في الاعتبار فعّالية التدابير الفردية وجدواها العملية، وكذلك مقدار المواد الملوّثة التي سوف تنتج في سياق عملية الاستصلاح.**

بعد إقرار المستويات المرجعية للجرعات الإشعاعية المتخلّفة ومستويات التلوّث، من الضروري جداً التحكُّم بعناية بمقدار المواد الملوّثة الناتجة عن تنفيذ استراتيجية الاستصلاح، وذلك من أجل التقليل إلى أدنى حدٍّ من مقدار النفايات التي ينبغي التصرّف فيها. وإنَّ غياب إجراءات التحضير لتحقيق التعافي اللازم بعد وقوع حادث نووي في اليابان يعني أن يحدث في المرحلة الأولية نتاج كميات كبيرة الحجم من المواد التي يُحتمل أن تكون ملوّثة. وفي أثناء انقضاء الوقت وتطوير التخطيط، تم تحسين إجراءات الاستصلاح على أمثل نحو، مما يؤدّي إلى تحسُّن التحكّم بمقدار النفايات التي ينبغي التصرُّف فيها.

كما أنَّ المشاريع الرائدة على سبيل التجربة أفادت في تحديد فعالية تقنيات معيَّنة خاصة بالاستصلاح، وكذلك تحديد مقدار النفايات الناتجة عن استخدام تقنيات معيَّنة. وأسهمت هذه المشاريع التجريبية في إرساء الإجراءات التي تتَّبع بشأن وقاية العاملين.

— **كجزء من استراتيجية الاستصلاح ينبغي تنفيذ اختبارات وضوابط رقابية صارمة على الأغذية، وذلك من أجل منع التعرُّض للجرعات الإشعاعية بالابتلاع أثناء الأكل أو التقليل منه إلى أدنى حدٍّ.**

أثبت التنفيذ بنهج نظامي للاختبارات والضوابط الرقابية الصارمة على الأغذية بعد الحادث أنَّ الجرعات بالابتلاع يمكن إبقاؤها على مستويات منخفضة.
وبغية إرساء الثقة في الأغذية المنتَجة محلياً، أُقيمت محطات رصد من أجل إتاحة الإمكانية للناس في المناطق المتضرِّرة لجلب الأغذية لغرض قياس ما تنطوي عليه من إشعاعات. وأدَّى هذا التحكُّم الرقابي بالجرعات التي قد تتلقَّى بالابتلاع إلى تبسيط إجراءات التعافي وذلك بإتاحة الإمكانية لعملية الاستصلاح لكي تركِّز على التقنيات التي تساعد على خفض الجرعات الخارجية.

— **ينبغي توفير المزيد من الإرشادات الدولية بشأن التطبيق العملي لمعايير الأمان بشأن الوقاية من الإشعاعات في حالات التعافي بعد الحوادث.**

ينبغي توفير المزيد من الإرشادات بشأن تطبيق معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرّية في حالات التعرّض الراهنة. كما أنَّ المستويات المرجعية المعتمَدة بشأن أوائل السنوات بعد الحادث تحتاج إلى استعراضها دورياً وتعديلها، حسبما يكون مناسباً، استجابة للظروف الإشعاعية المتغيرة. وينبغي أن تتضمّن الإرشادات منهجيةً بشأن اختيار مستويات مرجعية محددة بخصوص الحالة المعنية والموقع المقصود، من حيث الجرعة والكميات المنبعثة، وكذلك آليات الدمج المتكامل بين المشورة التقنية والعلمية، وغير ذلك من العوامل ذات الصلة اجتماعياً من أجل إنشاء عملية متماسكة وشفَّافة ومقبولة جماعياً لاتخاذ القرارات.

— **عقب وقوع حادثٍ ما، يُعدُّ وجود خطة استراتيجية بشأن الحفاظ على استقرار الظروف لأمدٍ طويل وبشأن إخراج المرافق المتضرّرة بفعل الحادث من الخدمة عاملًا أساسيًا جداً للقيام بالتعافي في الموقع. وينبغي أن تكون الخطة مرِنة وقابلة للتكيُّف بيُسرٍ مع الظروف المتغيّرة وتبعاً للمعلومات الجديدة.**

من شأن الأعمال التحضيرية لإخراج مرفقٍ تضرّر في حادث من الخدمة أن تشتمل أولاً على تحقيق استقرار الظروف من أجل ضمان أن تكون البُنى والنظم والمكوّنات موجودة في مواضعها للحفاظ على نحوٍ موثوق على استقرار الظروف لأمدٍ طويل حتى تنتهي الحاجة إلى استخدام وظائفها بعد ذلك. كما أنَّ الأعمال التحضيرية لإخراج المرافق من الخدمة بعد الحادث تستغرق عقوداً من الزمن. ومن الضروري اتخاذ الترتيبات اللازمة للحفاظ على الدراية الفنية وقوة العمل اللازمتين طوال هذه الفترة كلها.

من الضروري أن تشتمل عملية اتخاذ القرارات بشأن المراحل التمهيدية لإخراج المرافق من الخدمة، وبشأن الظروف النهائية للموقع والمفاعلات المتضرّرة على حوار مع الجهات المعنية. وتتوقَّف عملية اتخاذ القرارات بخصوص الإخراج من الخدمة على ظروف المفاعلات المتضرّرة والوقود وحطام الوقود، التي لا يمكن تحديدها في الفترة التي تلي مباشرة وقوع حادثٍ ما. وتشمل العوامل التي ينبغي النظر فيها بعين الاعتبار في سياق عملية اتخاذ القرارات؛ مستويات الجرعة التي يتعرَّض لها العاملون في الإخراج من الخدمة؛ وحجم وأنواع النفايات الناتجة؛ والجهود اللازمة لمعالجة النفايات. ومع أنه لا يمكن واقعياً، في المرحلة المبكّرة من أنشطة التنظيف، التنبؤ بالظروف النهائية في موقع المحطة، فإنه لا بدَّ من النظر في التوقُّعات والخطط الخاصة بالأراضي في سياق عملية اتخاذ القرارات.

— **تحتّم بالضرورة استعادة الوقود التالف وتحديد خصائص حطام الوقود وإزالته إيجاد حلول محدَّدة بخصوص الحادث، وقد يكون من الضروري استحداث طرائق وأدوات خاصة بذلك.**

إنَّ وقوع حادث في مفاعل ما واقتران ذلك بحدوث تلف في الوقود النووي يؤدي إلى ظهور ظروف معينة في المفاعل ينفرد بها ذلك الحادث. وإزالة عناصر الوقود التالف وحطام الوقود من الوقود المنصهر والتصرّف فيها مهمات معقّدة. ويحتاج حطام الوقود إلى تحديد خصائصه وإزالته وتعبئته

وتغليفه ووضعه في مستودع خزن حتى يمكن تنفيذ عملية التخلّص منه بموجب شروط صعبة تقترن في الأكثر بارتفاع مستويات الإشعاعات.

— **ينبغي أن تتضمَّن الاستراتيجياتُ والتدابير الوطنية بشأن التعافي بعد الحادث وضعَ استراتيجية عامة بشأن التصرُّف في المواد الملوثة السائلة والصلبة والنفايات المشعّة، تكون مدعّمة بتقييمات أمان عامة بشأن التصريف والتخزين والتخلُّص.**

استراتيجية التصرُّف في النفايات ضرورية لتنفيذ عملية التصرُّف في المواد الملوّثة والنفايات المشعّة الناتجة عن الحادث تمهيدًا للتخلُّص من هذه المواد (على سبيل المثال، المناولة والمعالجة والتكييف والخزن). ومن الضروري أيضًا أن تحدَّد هذه الاستراتيجية المسارات المناسبة للتخلُّص من هذه المواد. وقد تشتمل استراتيجيات التصرُّف في النفايات على استخدام ما هو موجود من مرافق المعالجة والخزن والتخلُّص، ومنها مثلاً محارق الترميد، أو مَطامِر النضّ الخاضعة للمراقبة. ولكنْ قد يكون من الضروري اتّباع نهوج أخرى، تبعاً لأحجام النفايات المشمولة وخصائصها. ويمكن أن يدعم وضع هذه الاستراتيجيات استحداثُ حالة أمان عامة معيارية.

كما يلزم وضع استراتيجيات للتصرف في كميات ذات أحجام كبيرة من المياه الملوثة بعد الحادث، بما يشمل النظر في تصريفها في البيئة على نحو متحكم فيه. ومع أنه توجد إرشادات دولية بشأن التصريفات أثناء التشغيل العادي للمرافق النووية، هنالك حاجة إلى توفير المزيد من الإرشادات بشأن تطبيقها في حالات ما بعد الحادث.

— **من الضروري إدراك العواقب الاقتصادية الاجتماعية التي تترتّب على أيِّ حادث نووي وعلى الإجراءات الوقائية اللاحقة، وإعداد مشاريع بشأن الإنعاش وإعادة الإعمار تُعنى بقضايا مثل إعادة إعمار البنية الأساسية وإنعاش المجتمعات المحلية والتعويض عليها.**

تنطوي الحوادث النووية والإجراءات الوقائية وإجراءات الاستصلاح المطبَّقة في حالتي الطوارئ والتعافي بعد الحادث كليهما، بهدف خفض الجرعات، على عواقب بعيدة المدى تطال طريقةَ الحياة لدى السكان المتضرِّرين. ومن ثم فإنَّ من الأمور الأساسية مشاركة الجهات المعنية في مختلف مراحل الاستصلاح والتعافي.

— إنَّ **الدعم المقدَّم من قِبل الجهات المعنية أساسي فيما يخصّ جميع جوانب التعافي بعد الحادث. وعلى وجه الخصوص، تُعدُّ مشاركة السكان المتضرِّرين في عمليات اتخاذ القرارات ضرورية لتحقيق النجاح والمقبولية والفعالية في أنشطة التعافي، ولإنعاش المجتمعات المحلية. ويتطلّب أي برنامج فعَّال للتعافي ثقة السكان المتضرِّرين واشتراكهم الفعلي. فالثقة في تنفيذ تدابير التعافي لا بدَّ من بنائها من خلال عمليات الحوار، وتقديم المعلومات المتسقة والواضحة والآنيَّة، وتوفير الدعم للسكان المتضرِّرين.**

تحتاج الحكومات إلى تزويد الجمهور بوصف واقعي لبرنامج التعافي يكون وصفًا متسقًا وواضحًا وآنيًا. ومن الضروري استخدام وسائط التواصل الاجتماعي لمخاطبة جميع الفئات المهتمة.

وإنَّ التصوُّرات عن المخاطر الإشعاعية والإجابات عن الأسئلة المتعلقة بتحديد المستويات الإشعاعية التي تعتبر "آمنة" هي تصورات تنطوي على أبعاد كثيرة، منها الأبعاد العلمية والمجتمعية والأخلاقية. ومن الضروري إيصال هذه الإجابات بوضوح إلى المجتمعات المحلية ذات الصلة من خلال برامج تثقيفية، ومن الأمثل أن يكون ذلك قبل وقوع حادث ما.

ومن المهم أن يتلقّى السكان المتضرِّرون الدعم فيما يتعلق بجهود التعافي المحلية. ومن شأن توفير الدعم لإجراءات المساعدة الذاتية المتعلقة بأنشطة الاستصلاح وإعادة بناء الأعمال التجارية أن يزيد المشاركة في برنامج التعافي، ويبني ثقة السكان المتضرِّرين.

٦- تصدي الوكالة للحادث

يُقدم هذا القسم لمحة عامة عن أنشطة الوكالة الرئيسية في أعقاب حادث فوكوشيما، في المدى الراهن والمدى البعيد على حد سواء. وتشمل تلك الأنشطة الأولية، وبعثات الوكالة إلى اليابان، والمؤتمران الوزاريان بشان الأمان النووي وخطة عمل الوكالة.

والوكالة هي الوديع لاتفاقية الأمان النووي ويكمن دورها في تمكين الأمانة من تنظيم الاجتماعات من خلال عقد تلك الاجتماعات والتحضير لها وترتيب الخدمات بشأنها، فضلاً عن توصيل المعلومات ذات الصلة إلى الأطراف المتعاقدة. ويعرض هذا القسم أيضًا الأنشطة المتعلقة باجتماعات الأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي في أعقاب حادث فوكوشيما داييتشي.

٦-١- أنشطة الوكالة

٦-١-١- الأنشطة الأوَّلية

تقع المسؤولية عن التصدي لحالة الطوارئ النووية أو الإشعاعية وحماية العمال والجمهور والبيئة على عاتق المنظمة المشغِّلة على مستوى المرفق المعني، والدولة المتضررة على المستويات المحلية والإقليمية والوطنية.

وتقوم الوكالة بدور محوري في الإطار الدولي[١١٥] للتأهب والتصدي للطوارئ. ويشمل هذا الدور ما يلي: (١) التبليغ وتبادل المعلومات الرسمية من خلال نقاط الاتصال المعيَّنة رسمياً؛ (٢) توفير معلومات واضحة ومفهومة وفي الوقت المناسب؛ (٣) توفير وتيسير المساعدة الدولية في حال طلبها؛ (٤) تنسيق الجهود المشتركة بين الوكالات من أجل التصدي[١١٦].

وتنهض الوكالة بهذا الدور من خلال نظامها الخاص بالتصدي للحادثات والطوارئ. ويشمل هذا النظام جهة اتصال متاحة على مدار اليوم وحلقة وصل تشغيلية ومركز الحادثات والطوارئ.

وفي الساعة ٦:٤٢ بتوقيت غرينتش[١١٧] من يوم ١١ آذار/مارس ٢٠١١، قامت الوكالة بتشغيل نظام التصدي للحادثات والطوارئ عقب تلقيها بلاغاً من المركز الدولي للأمان الزلزالي التابع للوكالة. وأشار ذلك البلاغ إلى وقوع زلزال واحتمال تضرر محطات القوى النووية الأربع[١١٨] الواقعة على الساحل الشمالي الشرقي

[١١٥] تألف الإطار الدولي للتأهب والتصدي للطوارئ وقت وقوع الحادث من الآتي: (أ) الصكوك القانونية والاتفاقات الدولية، لا سيما اتفاقية التبليغ المُبكِّر عن وقوع حادث نووي (اتفاقية التبليغ المُبكِّر) واتفاقية تقديم المساعدة في حالة وقوع حادث نووي أو طارئ إشعاعي (اتفاقية تقديم المساعدة)؛ (ب) معايير أمان الوكالة والإرشادات التقنية في مجال التأهب والتصدي للطوارئ؛ (ج) الاتفاقات والأدوات التشغيلية الدولية، لا سيما دليل العمليات التقنية المتعلقة بالتبليغ عن حالات الطوارئ وتقديم المساعدة، وشبكة الوكالة للتصدي والمساعدة، والخطة المشتركة للمنظمات الدولية من أجل التصدي للطوارئ الإشعاعية.

[١١٦] الهيئة الرئيسية المسؤولة عن تنسيق ترتيبات التصدي لحالات الطوارئ النووية والإشعاعية هي اللجنة المشتركة بين الوكالات المعنية بالتصدي للطوارئ الإشعاعية والنووية. وأنشئت هذه الهيئة في أعقاب حادث تشرنوبل في عام ١٩٨٦ وتضم حالياً ١٨ منظمة دولية. ومن الأدوار الرئيسية التي تقوم بها الهيئة وضع الخطة المشتركة للمنظمات الدولية من أجل التصدي للطوارئ الإشعاعية والحفاظ عليها (الخطة المشتركة لعام ٢٠١٠ وقت وقوع الحادث).

[١١٧] توقيت غرينتش متأخر تسع ساعات عن التوقيت المحلي في اليابان.

[١١٨] فوكوشيما داييتشي، وفوكوشيما داينـي التابعتـان لشركة طوكيو للطاقة الكهربائية، وأوناغاوا (شركة طوهوكو للطاقة الكهربائية) وطوكاي (شركة القوى الذرية اليابانية).

لليابان وخطر حدوث تسونامي [143]. وفي الساعة ٧:٢١ بتوقيت غرينتش، أجرت الوكالة اتصال أولي مع جهة الاتصال الرسمية التي عينتها اليابان بموجب اتفاقية التبليغ المُبكِّر واتفاقية تقديم المساعدة.

وبات واضحًاً خلال الأيام الأولى من الحادث أن خطراً شديداً يحدق بالمفاعلات والوقود في أحواض الوقود المستهلك في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وأنشأت الوكالة بالتالي فرقاً لتقييم قضايا الأمان النووي والإشعاعي الرئيسية. واستعرضت مختبرات الوكالة[١١٩] البيانات البيئية المقدَّمة من السلطات اليابانية بشأن رصد البيئة البحرية وتلقت عينات من البيئة الأرضية لإجراء تحليل مستقل لها.

وزار المدير العام للوكالة طوكيو في الفترة من ١٧ إلى ١٩ آذار/مارس لإجراء مشاورات رفيعة المستوى وللإعراب عن تضامن المجتمع الدولي مع اليابان ودعمه الكامل لها في معالجة عواقب الزلزال والتسونامي والحادث النووي، ولعرض تقديم المساعدة من عشرات البلدان. وناقش المدير العام أيضاً إمكانية قيام الوكالة بتقديم أو تنسيق أنواع محددة من المساعدة، مثل بعثات الخبراء وبعثات تقصي الحقائق، وأكد أهمية الشفافية وتقديم اليابان معلومات رسمية في الوقت المناسب.

وفي ٢٨ آذار/مارس، وخلال جلسة إعلامية خاصة للدول الأعضاء في الوكالة حول الحادث، أعلن المدير العام أن مؤتمراً للوكالة رفيع المستوى بشأن الأمان النووي سيُعقد في فيينا قبل حلول فصل الصيف. وصرَّح المدير العام أنه "من الأهمية الحيوية أن نستخلص الدروس المناسبة مما حدث في ١١ آذار/مارس وبعده من أجل تعزيز الأمان النووي في العالم أجمع" [315].

وخلال الفترة من ١٨ آذار/مارس حتى ١٨ نيسان/أبريل، بعثت الوكالة، بناءً على طلب اليابان، أربع فرق للرصد الإشعاعي إلى اليابان للمساعدة على التحقق من نتائج القياسات الأوسع التي أجرتها السلطات اليابانية. وأجرت الفرق قياسات في عدد من الأماكن داخل منطقة الإجلاء التي بلغت ٢٠ كم حول محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية وبقرب طوكيو. وتم إيفاد أحد كبار مسؤولي الوكالة إلى اليابان لتنسيق أنشطة الوكالة ذات الصلة وإبلاغ عروض تقديم المساعدة من الدول الأعضاء إلى السلطات اليابانية. وأُوفد مسؤولو الاتصال التابعون للوكالة إلى طوكيو لتيسير وتحسين الاتصال مع الهيئة الرقابية اليابانية، التي كانت آنذاك وكالة الأمان النووي والصناعي.

وقام فريق مشترك بين الوكالة ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) لتقييم أمان الأغذية بزيارة اليابان في الفترة من ٢٦ حتى ٣١ آذار/مارس. وأسدى الفريق مشورته وقدَّم مساعدته إلى السلطات اليابانية على المستويين الوطني والمحلي بشأن القضايا التقنية المتصلة بأمان الأغذية والتدابير الزراعية المضادة. وقُدِّمت المشورة بشأن استراتيجيات أخذ العينات والتحليل وتفسير بيانات الرصد من أجل ضمان الحصول باستمرار على معلومات موثوقة بشأن حجم التلوث الغذائي في المناطق المتضررة. واستخدمت السلطات اليابانية هذه البيانات لوضع استراتيجية للتخفيف من الآثار وللاستصلاح.

وأوفد فريق من خبراء الوكالة في مجال مفاعلات الماء المغلي إلى اليابان في ٣ نيسان/أبريل، واختتم الفريق أعماله في ١٢ نيسان/أبريل. وتجول الفريق في فوكوشيما داييتشي وفوكوشيما داييني، واجتمع بموظفي المحطة من أجل بلورة فهم أفضل للحادث والإجراءات التخفيفية المتخذة حتى ذلك الحين والأساس الذي يستند إليه اتخاذ القرارات الرئيسية التي تم اتخاذها. وعقد الفريق أيضاً اجتماعات مع موظفي العديد من المكاتب الحكومية وأجرى مناقشات تقنية مفصَّلة مع شركة طوكيو للطاقة الكهربائية ووكالة الأمان النووي والصناعي في طوكيو.

[١١٩] مختبرات الوكالة في زايبرسدورف بالنمسا وفي موناكو متخصصة في تقييم العينات الأرضية والبحرية والبيئية، على التوالي.

ونشرت الوكالة أول بيان لها عن الحادث بعد أقل من ثلاث ساعات من وقوع الزلزال يوم ١١ آذار/مارس. ونُشرت خمس بيانات إضافية لاحقاً في ذلك اليوم لنقل المعلومات المقدَّمة من اليابان. ونُشر أكثر من ١٢٠ تحديثاً منذ ذلك الحين حتى ٢٢ نيسان/أبريل ٢٠١١. وعقدت الوكالة ١٦ مؤتمراً صحفياً في الفترة من ١٤ آذار/مارس حتى ٢ حزيران/يونيه ٢٠١١، بالإضافة إلى المؤتمرات الصحفية التي عُقدت أثناء زيارة المدير العام إلى اليابان. وشملت أنشطة الإعلام العام التي أجرتها الوكالة أيضاً الرد على الآلاف من المكالمات الهاتفية وتقديم ردود تقنية مفصَّلة على المئات من الاستفسارات التي وردت من وسائط الإعلام.

وقامت الوكالة بنشر جلسات إعلامية يومية للدول الأعضاء والجمهور على موقعها الإلكتروني العام. وشملت هذه الجلسات الإعلامية حالة الوحدات من ١ إلى ٦ في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية؛ وبيانات الرصد الإشعاعي للنويدات المشعة مثل اليود-١٣١، والسيزيوم-١٣٤ والسيزيوم-١٣٧؛ ونتائج الرصد الإشعاعي للأغذية، ومعلومات عن القيود المفروضة على توزيع واستهلاك الأغذية ومياه الشرب؛ وبيانات عن رصد البيئة البحرية. وقدَّمت الوكالة أيضاً جلسات إعلامية عن الحادث إلى البعثات الدائمة للدول الأعضاء في الوكالة في فيينا.

٦-١-٢- بعثات الوكالة إلى اليابان

بناءً على اتفاق مع حكومة اليابان، أوفدت الوكالة بعثة خبراء دولية لتقصي الحقائق اضطلع بها خبراء من الوكالة والدول الأعضاء في الفترة من ٢٤ أيار/مايو حتى ٢ حزيران/يونيه ٢٠١١. وجمعت البعثة معلومات لإجراء تقييم أوَّلي للحادث الذي تعرضت له محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية ومعلومات عن الأحداث التي وقعت في مواقع أخرى (فوكوشيما داييني وطوكاي داييني). وعلاوة على ذلك، حُدِّدت قضايا الأمان العامة المتصلة بالأحداث الطبيعية التي تطلبت المزيد من التحري أو التقييم على أساس معايير أمان الوكالة.

وشمل نطاق البعثة ما يلي: الأحداث الخارجية الطبيعية المنشأ، وتقييم أمان المحطة وتطبيق الدفاع في العمق، وتصدي المحطة للأحداث بعد الزلزال وموجات التسونامي، والتصدي للحوادث العنيفة، والتصرف في الوقود المستهلك في مرفق شديد التدهور، والتأهب والتصدي للطوارئ، والعواقب الإشعاعية. وشملت استنتاجات البعثة [34] ١٥ نتيجة و١٦ درساً مستفاداً، وأبلغت هذه النتائج والدروس إلى مؤتمر الوكالة الوزاري بشأن الأمان النووي الذي عقد في حزيران/يونيه ٢٠١١.

ويلخص الجدول ٦-١ البعثات الأخرى التي أوفدتها الوكالة إلى اليابان.

وفي أعقاب توصيات البعثة الثانية المعنية بالإخراج من الخدمة، تم الشروع في مشاريع قصد تحسين الشفافية وتقديم تقييمات مستقلة لرصد البيئة البحرية من طرف اليابان. وأجريت اختبارات كفاءة في مختبرات البيئة التابعة للوكالة في موناكو لرصد أداء المختبرات المشاركة وقدراتها التحليلية. ويتم بشكل دوري تحديث نتائج برنامج الرصد البحري المتاحة على موقع الوكالة الإلكتروني.

٦-١-٣- مؤتمر الوكالة الوزاري بشأن الأمان النووي

دعا المدير العام في حزيران/يونيه ٢٠١١ إلى عقد مؤتمر وزاري بشأن الأمان النووي في مقر الوكالة بهدف تعزيز الأمان النووي بالاستفادة من الدروس المستخلصة من الحادث. وأتاح المؤتمر فرصة على المستوى الوزاري وعلى المستوى التقني الرفيع لإجراء تقييم أوَّلي للحادث. وبحث المؤتمر أيضاً إجراءات تحسين الأمان، والقضايا المتعلقة بالتأهب والتصدي للطوارئ، والتداعيات بالنسبة للإطار العالمي للأمان النووي.

وتمخَّض المؤتمر عن إصدار إعلان وزاري بشأن الأمان النووي [320] حدَّد عدداً من التدابير لزيادة تحسين الأمان النووي والتأهب للطوارئ وحماية الناس والبيئة من الإشعاعات في جميع أنحاء العالم. وأعرب الإعلان أيضاً عن التزام الدول الأعضاء في الوكالة التزاماً راسخاً بضمان اتخاذ تلك التدابير. وتمثَّلت التدابير الرئيسية في الآتي: تقوية معايير أمان الوكالة؛ وإجراء استعراض منهجي لأمان جميع محطات القوى النووية بوسائل تشمل توسيع برنامج الوكالة الخاص باستعراضات النظراء التي يُجريها الخبراء؛ وتعزيز فعالية الهيئات الرقابية النووية الوطنية وضمان استقلالها؛ وتقوية النظام العالمي للتأهب والتصدي للطوارئ؛ وتوسيع دور الوكالة في تلقي المعلومات ونشرها. ودعا الإعلان الوزاري أيضاً المدير العام إلى إعداد مشروع 'خطة عمل للوكالة بشأن الأمان النووي' بالتشاور مع الدول الأعضاء.

الجدول ٦-١- بعثات الوكالة إلى اليابان

التاريخ	البعثة	الأهداف
٧-١٥ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١١	البعثة الدولية لمعالجة المناطق الملوثة خارج موقع محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية [316]	مساعدة خطط اليابان على استصلاح المساحات الشاسعة التي تلوثت جراء الحادث. استعراض استراتيجيات اليابان بشأن عمليات الاستصلاح الجارية، وخططها وأنشطتها، بما يشمل رسم خرائط التلوث. إطلاع المجتمع الدولي على ما تم التوصل إليه من استنتاجات من أجل تعميم الدروس المستفادة من الحادث.
٢٣-٣١ كانون الثاني/يناير ٢٠١٢	بعثة استعراض نهج وكالة الأمان النووي والصناعي اليابانية إزاء التقييمات الشاملة لأمان مرافق مفاعلات القوى النووية القائمة [317]	استعراض التقييمات الشاملة لأمان مرافق مفاعلات القوى النووية القائمة الخاصة بوكالة الأمان النووي والصناعي اليابانية (بناءً على طلب الحكومة اليابانية)، ونتائج تقييمات الجهة المرخص لها.
٣٠ تموز/يوليه – ١١ آب/أغسطس ٢٠١٢	بعثة الوكالة إلى محطة أوناغاوا للقوى النووية لفحص أداء النظم والهياكل والمكونات في أعقاب زلزال اليابان الكبير والتسونامي [318]	فحص أداء النُظم والهياكل والمكونات عقب الزلزال والتسونامي.
١٥-٢٢ نيسان/ أبريل ٢٠١٣	بعثة استعراض النظراء الدولية بشأن خارطة الطريق المتوسطة والطويلة الأجل نحو إخراج الوحدات ١-٤ من الخدمة في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية التابعة لشركة طوكيو للطاقة الكهربائية (البعثة الأولى) [319]	استعراض 'خارطة الطريق للإخراج من الخدمة'؛ والتحديات؛ وحالة المفاعلات؛ والتصرف في النفايات؛ وحماية العاملين؛ والسلامة الهيكلية لمباني المفاعل والهياكل الأخرى.
١٤-٢١ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣	البعثة الدولية لمتابعة استصلاح المناطق الشاسعة الملوثة خارج موقع محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية [265]]	تقييم التقدُّم المحرز في أعمال الاستصلاح الجارية في اليابان وإسداء المشورة بشأن التغلب على تحديات الاستصلاح.
٦-١٢ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣	زيارة الخبراء بشأن الرصد البحري	ملاحظة عمليات أخذ عينات من مياه البحر وتحليل البيانات في فوكوشيما (٧ و٨ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣) والاجتماع مع السلطات اليابانية ذات الصلة في طوكيو لجمع معلومات عن الرصد البحري الذي أجرته اليابان في إطار خطتها الخاصة برصد المناطق البحرية.
٢٥ تشرين الثاني/ نوفمبر – ٤ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣	بعثة استعراض النظراء الدولية بشأن خارطة الطريق المتوسطة والطويلة الأجل نحو إخراج الوحدات ١-٤ من الخدمة في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية التابعة لشركة طوكيو للطاقة الكهربائية (تيبكو) (البعثة الثانية) [288]	استعراض النسخة المحدثة من 'خارطة الطريق بشأن الإخراج من الخدمة'؛ وإزالة الوقود المستهلك من أحواض الخزن؛ والتصرف في المياه الملوثة؛ والتصرف في النفايات؛ والرصد البحري.
١٠-١٦ أيلول/ سبتمبر ٢٠١٤ و٤-١٤ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٤	بعثة الخبراء المعنية بالرصد البحري وبناء الثقة وضمان جود البيانات	التركيز على إتاحة نتائج الرصد البحري.
٨-١٥ شباط/ فبراير ٢٠١٥	بعثة استعراض النظراء الدولية بشأن خارطة الطريق المتوسطة والطويلة الأجل نحو إخراج الوحدات ١-٤ من الخدمة في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية التابعة لشركة طوكيو للطاقة الكهربائية (البعثة الثالثة)[289]	استعراض تنفيذ 'خارطة الطريق بشأن الإخراج من الخدمة'؛ والتصرف في النفايات الملوثة؛ وتسرب المياه الجوفية؛ وإزالة الوقود المستهلك وحطام الوقود؛ والقضايا المؤسسية والتنظيمية.

٦-١-٤- خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي

اعتمد مجلس المحافظين في أيلول/سبتمبر ٢٠١١ مشروع 'خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي'. وعرضت خطة العمل بعد ذلك على مؤتمر الوكالة العام في دورته العادية لعام ٢٠١١ حيث أقرتها بالإجماع الدول الأعضاء [144]. وطلب المؤتمر العام لاحقًا من أمانة الوكالة والدول الأعضاء تنفيذ الإجراءات على سبيل الأولوية العليا وعلى نحو شامل ومنسَّق [321].

وبدأ تنفيذ الأنشطة المحددة في خطة العمل فور اعتماد الخطة. وتتطلب التنفيذ الكامل والفعال للأنشطة المحددة في هذه الخطة جهوداً مشتركة والتزاماً كاملاً من أمانة الوكالة والدول الأعضاء والجهات المعنية الأخرى.

وأحرز منذ اعتماد خطة العمل تقدم كبير في عدة مجالات رئيسية، مثل تقييمات نقاط الضعف التي تشوب أمان محطات القوى النووية، وتعزيز خدمات استعراض النظراء المقدمة من الوكالة، واستعراض معايير الأمان ذات الصلة الصادرة عن الوكالة وتنقيحها حسب اللزوم، والتحسينات في إمكانات التأهب والتصدي للطوارئ، وبناء القدرات، وتحسين الاتصالات وتقاسم المعلومات مع الدول الأعضاء والمنظمات الدولية والجمهور وتعزيزها. وتم عرض تقارير مرحلية منتظمة على مجلس محافظي الوكالة ومؤتمر الوكالة العام [322–324].

وفي إطار قرار اعتماد خطة العمل، تم توسيع نطاق دور الوكالة في التصدي للطوارئ النووية ليشمل تزويد الدول الأعضاء والمنظمات الدولية وعامة الجمهور بمعلومات مقدمة في الوقت المناسب وواضحة وصحيحة الوقائع وموضوعية ويسيرة الفهم بشأن عواقبها المحتملة. كما يشمل ذلك تحليلاً للمعلومات المتاحة وتوقعات بشأن السيناريوهات المحتملة استناداً إلى الأدلة والمعرفة العلمية وإمكانات الدول الأعضاء.

ونُظِّمت عدة اجتماعات للخبراء الدوليين في شتى مجالات الأمان لتحليل الجوانب التقنية واستخلاص الدروس المستفادة من حادث فوكوشيما داييتشي. ونشرت الوكالة تقارير عن هذه المجالات الرئيسية المتصلة بالأمان، بما فيها نتائج اجتماعات الخبراء الدوليين (انظر الجدول ٦-٢).

وأُعدت تقارير إضافية في عام ٢٠١٣ بشأن المواضيع التالية:

- التأهب والتصدي للطوارئ النووية أو الإشعاعية على ضوء حادث محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية بالاستناد إلى سلسلة من الاجتماعات التقنية التي عقدت في الفترة ٢٠١٢-٢٠١٣ [327].
- تعزيز الفعالية الرقابية على ضوء الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية استناداً إلى نتائج المؤتمر الدولي المعني بالنُظم الرقابية النووية الفعَّالة الذي عقد في أوتاوا بكندا في عام ٢٠١٣ [328].

٦-١-٥- التعاون مع محافظة فوكوشيما

وقِّعت مذكرة تعاون بين الوكالة ومحافظة فوكوشيما في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٢ [329]. وبناءً على هذه المذكرة، وقِّعت ترتيبات عملية بشأن التعاون في مجالات الرصد الإشعاعي والاستصلاح [330]، والصحة البشرية [331]، والتأهب والتصدي للطوارئ [332] مع محافظة فوكوشيما، وجامعة فوكوشيما الطبية، ووزارة الشؤون الخارجية اليابانية على التوالي.

وتم تعيين مركز لبناء القدرات تابع لشبكة الوكالة للتصدي والمساعدة في مدينة فوكوشيما في أيار/مايو ٢٠١٣. ويُستخدم المركز في مجموعة من أنشطة الوكالة بهدف تعزيز القدرة على التأهب والتصدي للطوارئ سواءً في اليابان أو على نطاق العالم. وعُقدت في المركز عدة حلقات عمل تدريبية حول الرصد أثناء حالات الطوارئ النووية والإشعاعية، والإخطار، والإبلاغ وطلب المساعدة، والتأهب والتصدي للطوارئ.

الجدول ٦-٢- اجتماعات الخبراء الدوليين

التاريخ	العنوان	محور التركيز
١٩-٢٢ آذار/ مارس ٢٠١٢	الاجتماع الأول: أمان المفاعلات والوقود المستهلك على ضوء الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية [42]	تحليل الجوانب التقنية؛ وفهم الأسباب الجذرية؛ وتقاسم الدروس المستفادة من الحادث.
١٨-٢٠ حزيران/يونيه ٢٠١٢	الاجتماع الثاني: تعزيز الشفافية وفعالية الاتصال في حال حدوث طارئ نووي أو إشعاعي [314]	تحديد الدروس المستفادة من الحادث وتحليلها، ومناقشة أفضل الممارسات من أجل تحسين نشر المعلومات.
٤-٧ أيلول/ سبتمبر ٢٠١٢	الاجتماع الثالث: الوقاية من الزلازل وموجات التسونامي العنيفة على ضوء الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية [325]	تقاسم الدروس المستفادة؛ وتبادل المعلومات وتحديد القضايا التي تتطلب مزيداً من التقصي: تقييم المخاطر الزلزالية ومخاطر التسونامي؛ والقضايا الخاصة بالفيضانات؛ والشكوك المصاحبة لتقييمات المخاطر؛ ونُهج تحديد القيم التصميمية؛ ومعالجة الأحداث غير المحتاط لها في التصميم؛ والأمان ضد الزلازل وموجات تسونامي.
٢٨ كانون الثاني/يناير – ١ شباط/فبراير ٢٠١٣	الاجتماع الرابع: الإخراج من الخدمة والاستصلاح بعد وقوع حادث نووي [293]	دراسة القضايا القصيرة الأجل والطويلة الأجل المتعلقة بإخراج المرافق المتضررة بالحوادث من الخدمة؛ والتصرف في النفايات المشعة الناتجة عن الحوادث النووية؛ واستصلاح البيئة خارج الموقع.
٢١-٢٤ أيار/ مايو ٢٠١٣	الاجتماع الخامس: العوامل البشرية والتنظيمية في مجال الأمان النووي على ضوء الحادث الذي تعرضت له محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية [67]	استكشاف سُبل تحسين ثقافة الأمان النووي في مجموعة من المؤسسات الرئيسية، بما فيها المنظمات المشغِّلة والهيئات الرقابية.
١٧-٢١ شباط/ فبراير ٢٠١٤	الاجتماع السادس: الوقاية من الإشعاعات بعد حادث فوكوشيما داييتشي: الترويج للثقة والفهم [326]	التركيز على قضايا الوقاية من الإشعاعات التي سلط حادث فوكوشيما داييتشي الضوء عليها وكيفية معالجتها على المستويين الوطني والدولي.
١٧-٢٠ آذار/ مارس ٢٠١٤	الاجتماع السابع: التصدي للحوادث العنيفة على ضوء الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية	جمع وتقاسم المعارف والخبرات المكتسبة على ضوء حادث فوكوشيما داييتشي فيما يتصل بالتصدي للحوادث العنيفة؛ وتحليل الدروس المستفادة وأفضل الممارسات.
١٦-٢٠ شباط/ فبراير ٢٠١٥	الاجتماع الثامن: تعزيز فعالية أنشطة البحث والتطوير على ضوء الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية	تيسير وتبادل المعلومات الناشئة عن أنشطة البحث والتطوير الجديدة التي تضطلع بها الدول الأعضاء في الوكالة، وكذلك أنشطة وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والمنظمات الدولية الأخرى التي تتعامل مع الحوادث العنيفة التي تقع في محطات القوى النووية، بما يشمل الحوادث العنيفة التي تؤثر على أحواض الوقود المستهلك؛ مواصلة تعزيز التعاون الدولي بين الدول الأعضاء والمنظمات الدولية.
٢٠-٢٤ نيسان/ أبريل ٢٠١٥	الاجتماع التاسع: تقييم وتوقع مسار الأحداث عند التصدي لطارئ نووي أو إشعاعي	تيسير تبادل المعلومات التي تقدَّم في الوقت المناسب وتكون واضحة وصحيحة من حيث الوقائع أثناء حالات الطوارئ النووية أو الإشعاعية وعواقبها المحتملة، بما يشمل تحليل المعلومات المتاحة وتوقع السيناريوهات المحتملة بالاستناد إلى الأدلة والمعرفة العلمية وإمكانات الدول الأعضاء.

٦-١-٦- مؤتمر فوكوشيما الوزاري بشأن الأمان النووي

نظَّمت حكومة اليابان في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٢ مؤتمراً وزارياً في محافظة فوكوشيما شاركت في رعايته الوكالة وذلك أساساً للمساهمة في تعزيز الأمان النووي على نطاق العالم [333]. وأتاح المؤتمر فرصة لإطلاع المجتمع الدولي على المزيد من المعارف والدروس المستفادة من الحادث ولمناقشة التقدم المحرز في الجهود الدولية الرامية إلى تعزيز الأمان النووي، بما في ذلك ما أُحرز من تقدم في تنفيذ خطة العمل.

وشملت النقاشات: مستويات الإشعاع في فوكوشيما دايتشي؛ والتحديات اللاحقة للحادث فيما يتصل بالإخراج من الخدمة والاستصلاح؛ وحالة الأضرار والتعافي في المناطق المحيطة بالمحطة. وسلط المؤتمر الضوء على أهمية اتخاذ إجراءات على أساس معلومات علمية ومستندة إلى الحقائق في حالة وقوع طارئ نووي أو إشعاعي، وأهمية تعزيز التعاون الدولي.

٦-٢- اجتماعات الأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي

الإطار ٦-١: اتفاقية الأمان النووي

اعتُمدت اتفاقية الأمان النووي في فيينا في ١٧ حزيران/يونيه ١٩٩٤ [334]. والاتفاقية هي أول معاهدة دولية ملزمة قانوناً لمعالجة أمان المنشآت النووية (محطات القوى النووية المدنية الأرضية) وتهدف إلى بلوغ مستوى عالٍ من الأمان النووي على نطاق العالم، والحفاظ على ذلك المستوى؛ وإنشاء دفاعات فعالة ضد الأخطار الإشعاعية المحتملة، والحفاظ على تلك الدفاعات، لحماية الأفراد والمجتمع والبيئة؛ والحيلولة دون وقوع حوادث ذات عواقب إشعاعية، وتخفيف حدة هذه العواقب في حال وقوعها. وبدأ نفاذ الاتفاقية في ٢٤ تشرين الأول/أكتوبر ١٩٩٦. وبلغ عدد الأطراف المتعاقدة في الاتفاقية ٧٧ في آذار/مارس ٢٠١٥.

وتستند الالتزامات الواقعة على الأطراف المتعاقدة بدرجة كبيرة إلى المبادئ الواردة حالياً في مبادئ الأمان الأساسية التي أصدرتها الوكالة (SF-1) [335]. وتشمل هذه الالتزامات على وجه الخصوص ما يلي: تحديد مواقع المنشآت النووية وتصميمها وتشييدها وتشغيلها؛ ووضع إطار تشريعي ورقابي والحفاظ عليه؛ وإنشاء هيئة رقابية تُمنح السلطة والاختصاصات والموارد المالية والبشرية الملائمة؛ وتوافر الموارد المالية والبشرية الكافية لدعم أمان المنشآت النووية؛ وتقييم الأمان والتحقق منه؛ وضمان الجودة؛ والتأهب للطوارئ.

ويلزم من الأطراف المتعاقدة أن تقدِّم تقريراً عن التدابير التي تتخذها لتنفيذ كل التزام من الالتزامات المنصوص عليها في الاتفاقية. وتخضع هذه التقارير لاستعراض أثناء الاجتماعات الاستعراضية للأطراف المتعاقدة التي تعقد كل ثلاث سنوات تحت رعاية الوكالة.

٦-٢-١- الاجتماع الاستثنائي للأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي

اعتمدت الأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي في اجتماعها الاستعراضي الخامس الذي عقد في الفترة من ٤ إلى ١٤ نيسان/أبريل ٢٠١١ بياناً أكدت فيه مجدداً جملة أمور شملت التزامها بأهداف الاتفاقية. واتفقت الأطراف المتعاقدة على عقد اجتماع استثنائي لاستعراض التحليلات الأوَّلية للحادث ومناقشتها، واستعراض مدى فعالية الاتفاقية.

وعُقد الاجتماع الاستثنائي في مقر الوكالة في فيينا في الفترة من ٢٧ إلى ٣١ آب/أغسطس ٢٠١٢. وناقشت الأطراف المتعاقدة ما يلي: الأحداث الخارجية؛ وقضايا التصميم؛ والتصدي للحوادث العنيفة والتعافي منها (داخل الموقع)؛ والمنظمات الوطنية؛ والتأهب والتصدي للطوارئ؛ والإدارة بعد الحوادث (خارج الموقع)؛ والتعاون الدولي.

واتفقت الأطراف المتعاقدة أيضاً بالإجماع على عدد من الإجراءات الملموسة لتعزيز فعالية عملية استعراض النظراء. وعُدِّلت الوثائق الإرشادية الأساسية الثلاث[١٢٠] للاتفاقية من أجل تعزيز شفافية عملية الاستعراض، وتشجيع الأطراف المتعاقدة على الإشارة إلى معايير أمان الوكالة في تقاريرها الوطنية؛ وتعزيز الجهود الرامية إلى التحسين المتواصل عن طريق إعادة تقييم الأمان دورياً من خلال استعراضات دورية للأمان أو باستخدام أساليب بديلة.

وأنشئ فريق عامل معني بالفعالية والشفافية من أجل إبلاغ الاجتماع الاستعراضي السادس للأطراف المتعاقدة بالإجراءات الأخرى لتعزيز اتفاقية الأمان النووي واقتراح التعديلات عليها، إذا اقتضت الضرورة ذلك. ونظرت أيضا الأطراف المتعاقدة في قائمة بالأهداف ذات المنحى العملي لتعزيز الأمان النووي أُرفقت بالتقرير الموجز للاجتماع الاستثنائي [339].

٦-٢-٢- الاجتماع الاستعراضي السادس للأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي

عقد الاجتماع الاستعراضي السادس للأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي في الفترة من ٢٤ آذار/مارس حتى ٤ نيسان/أبريل ٢٠١٤. وأبلغت الأطراف المتعاقدة خلال جلسة خاصة للاجتماع عن الإجراءات المتخذة على ضوء حادث فوكوشيما داييتشي، ولوحظ أنه على الرغم من تحسن الأمان النووي وترتيبات التأهب والتصدي للطوارئ، ما زال هناك الكثير مما يلزم القيام به. وأشار الاجتماع إلى أنه يجري زيادة تعزيز أُطر الأمان النووي واتُخذت خطوات نحو إرساء الاستقلال الفعال للهيئات الرقابية وتحديث اللوائح. وازداد أيضاً التعاون الدولي واتسعت المشاركة في استعراضات النظراء وتبادل المعلومات [340].

وأفادت الأطراف المتعاقدة في اتفاقية الأمان النووي عن تنفيذ عمليات الارتقاء بالأمان، بما في ذلك إدخال وسائل إضافية تتحمل فقدان القوى والتبريد لفترات طويلة؛ وتطوير نُظم القوى لتحسين الموثوقية؛ وإعادة تقييم الأخطار الطبيعية الخارجية التي تتعرض لها مواقع بعينها، والأحداث في المواقع المتعددة الوحدات؛ وتعزيز مراكز التحكم في حالات الطوارئ داخل الموقع وخارجه من أجل ضمان الوقاية من الأحداث الخارجية الشديدة والأخطار الإشعاعية؛ وتعزيز تدابير الحفاظ على سلامة الاحتواء؛ وتحسين الترتيبات والمبادئ التوجيهية المتعلقة بالتصدي للحوادث العنيفة.

واعتمدت الأطراف المتعاقدة أيضًا اقتراحات لتعديل آخر على الوثائق الإرشادية الأساسية للاتفاقية وقدمت توصيات باتخاذ إجراءات من طرف أمانة الوكالة والأطراف المتعاقدة ومنظمات أخرى.

وأخيراً، قرَّرت الأطراف المتعاقدة بالتصويت الدعوة إلى مؤتمر دبلوماسي يُعقد في غضون سنة واحدة للنظر في اقتراح مقدَّم من سويسرا لتعديل المادة ١٨ من الاتفاقية بشأن تصميم محطات القوى النووية الجديدة والقائمة وتشييدها.

---

[١٢٠] النظام الداخلي واللائحة المالية [336]، والمبادئ التوجيهية بشأن عملية الاستعراض [337]، والمبادئ التوجيهية بشأن التقارير الوطنية [338].

٦-٢-٣- المؤتمر الدبلوماسي وإعلان فيينا بشأن الأمان النووي

وقام المدير العام بتنظيم المؤتمر الدبلوماسي في مقر الوكالة الرئيسي في ٩ شباط/فبراير ٢٠١٥ بحضور ٧١ طرفاً متعاقداً. واعتمدت الأطراف بالإجماع إعلان فيينا بشأن الأمان النووي من أجل تحقيق هدف التعديل المقترح. وشمل هذا الإعلان المبادئ التالية من أجل تنفيذ الهدف الثالث للاتفاقية، وهو الحيلولة دون وقوع حوادث ذات عواقب إشعاعية، والتخفيف من حدة هذه العواقب في حال وقوعها:

"١- يتم تصميم محطات القوى النووية الجديدة وتحديد مواقعها وتشييدها بما يتوافق مع هدف منع وقوع الحوادث عند الإدخال في الخدمة والتشغيل، وفي حال وقوع حادث، التخفيف من الانبعاثات الممكنة للنويدات المشعة التي تسبب تلوثاً طويل الأمد خارج الموقع، وتجنب الانبعاثات المشعة المُبكِّرة أو الانبعاثات المشعة التي تكون كبيرة بما يكفي لأن تتطلب اتخاذ تدابير وإجراءات وقائية طويلة الأمد.

"٢- تُجرَى تقييمات شاملة ومنهجية للأمان بصفة دورية ومنتظمة للمنشآت القائمة، طوال عمرها التشغيلي، من أجل تحديد تحسينات الأمان الموجَّهة صوب تحقيق الهدف الوارد أعلاه. وتنفَّذ في الوقت المناسب تحسينات الأمان العملية أو القابلة للتحقيق على نحو معقول.

"٣- تأخذ المتطلبات واللوائح الوطنية الرامية إلى تحقيق هذا الهدف طوال العمر التشغيلي لمحطات القوى النووية بعين الاعتبار معايير الأمان ذات الصلة الصادرة عن الوكالة، وبحسب الاقتضاء الممارسات الفضلى الأخرى المحددة في مواطن من بينها الاجتماعات الاستعراضية لاتفاقية الأمان النووي". [اتفاقية الأمان النووي] [341]

وروعي في إعلان فيينا الجهود الكبيرة المبذولة والمبادرات الكثيرة المتخذة على المستويات الدولية والوطنية والإقليمية منذ وقوع حادث محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية من أجل تعزيز الأمان النووي في جميع أنحاء العالم.

المراجع

[1] NATIONAL POLICE AGENCY, Damage Situation and Police Countermeasures Associated with the 2011Tohoku District–off the Pacific Ocean Earthquake (2015), https://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo_e.pdf

[2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Introductory Statement to Board of Governors (2013), https://www.iaea.org/newscenter/statements/introductory-statement-board-governors-3

[3] GOVERNMENT OF JAPAN, NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety: The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations (2011(), http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report

[4] GOVERNMENT OF JAPAN, NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Additional Report of the Japanese Government to the IAEA: The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations, Second Report (2011), http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/iaea/iaea_110911.html

[5] INVESTIGATION COMMITTEE ON THE ACCIDENT AT THE FUKUSHIMA NUCLEAR POWER STATIONS OF TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Final Report, Cabinet Secretariat of the Government of Japan (2012), http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/eng/final-report.html

[6] INVESTIGATION COMMITTEE ON THE ACCIDENT AT THE FUKUSHIMA NUCLEAR POWER STATIONS OF TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Interim Report, Cabinet Secretariat of the Government of Japan (2011), http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/eng/interim-report.html

[7] NATIONAL DIET OF JAPAN FUKUSHIMA NUCLEAR ACCIDENT INDEPENDENT INVESTIGATION COMMISSION, The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, National Diet of Japan, Tokyo (2012),

[8] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Fukushima Nuclear Accident Analysis Report, TEPCO, Tokyo (2012),

[9] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Evaluation of the Situation of Cores and Containment Vessels of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units-1 to 3 and Examination into Unsolved Issues in the Accident Progression, TEPCO, Tokyo (2013).

[10] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Report on the Investigation and Study of Unconfirmed/Unclear Matters in the Fukushima Nuclear Accident, Progress Rep. No. 2, TEPCO, Tokyo (2014).

[11] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Analysis of the TEPCO Fukushima Daiichi NPS Accident, Interim Rep. (2014), https://www.iaea.org/sites/default/files/anaylysis_nra1014.pdf

[12] JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, Information on the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (2015), http://www.jma.go.jp/jma/en/2011_Earthquake/Information_on_2011_Earthquake.html

[١٣] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، نظام المعلومات عن مفاعلات القوى التابع للوكالة (٢٠١٥)، http://www.iaea.org/pris/

[14] JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, Tsunami Information (Estimated Tsunami Arrival Time and Height) (2011), http://www.jma.go.jp/en/tsunami/info_04_20110311145026.html

[15] COASTAL ENGINEERING COMMITTEE OF JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami Information (2013), http://www.coastal.jp/tsunami2011/index.php?Field%20survey%20results

[١٦] وكالة الأمان النووي والصناعي، تصريح إنشاء الوحدة ١ في محطة فوكوشيما دايتشي، وكالة الأمان النووي والصناعي (١٩٩٦) (باللغة اليابانية)

[17] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Dry Storage Cask Leak Test Results Reported to METI (2013) (in Japanese), http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20130530_03.html

[18] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Operation Manuals of TEPCO Fukushima Daiichi NPP in Case of Accident (2011) (in Japanese), http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/earthquake/manual/manual_index.html

[19] Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness, Act No. 156 of 1999, as last amended by Act No. 118 of 2006 (Japan), http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/hourei/data/ASMCNEP.pdf

[20] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Building diagrams for 1F ground level and cross section of Unit 4 and the common spent fuel pool, official communication (2014).

[21] Order for Enforcement of the Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness No. 195 of April 5, 2000 (Japan) (in Japanese), http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12SE195.html

[22] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Accident Management: Measures against Severe Accidents at Light Water Nuclear Power Reactor Facilities (1992) (in Japanese), http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/t19920528001/t19920528001.html

[23] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Accident Management for Severe Accidents at Light Water Power Reactor Installations, NSCRG: L-AM-II.01, NSC, Tokyo (1997).

[24] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Roadmap towards Restoration from the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (2011), http://www.meti.go.jp/english/speeches/pdf/20110417_a.pdf

[25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-18, IAEA, Vienna (2011).

[٢٦] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، تقييم مواقع المنشآت النووية، العدد NS-R-3 من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، فيينا (٢٠٠٣).

[27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-1, IAEA, Vienna (2000). (This publication is superseded by SSR-2/1 (2012)).

[28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Siting, Safety Series No. 50-SG-S1, IAEA, Vienna (1979). (This publication is superseded by SSG-9 (2010)).

[29] Nuclear Reactor Establishment Change Permit Application, Nuclear Industry Report to the Government No. 5–11 (1993).

[30] SAKAI, T., TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, "Past tsunami assessments and tsunami on 11 March 2011", paper presented at 5th Meeting of Working Group 2, Vienna, 2014.

[31] JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, Tsunami Assessment Method for Nuclear Power Plants in Japan (2002) (in Japanese), http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/node/5

[32] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Regulatory Guide for Reviewing Seismic Design of Nuclear Power Reactor Facilities, NSC, Tokyo (2006).

[33] HEADQUARTERS FOR EARTHQUAKE RESEARCH PROMOTION, On the Long-term Evaluation of Seismic Activity off Eastern Japan between the Sanriku Coast and the Boso Peninsula (2002) (in Japanese), http://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/sanriku_boso.pdf

[34] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-ichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami (2011), http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2011/cn200/documentation/cn200_Final-Fukushima-Mission_Report.pdf

[35] GOVERNMENT OF INDIA, Actions Taken for Indian NPPs Subsequent to Fukushima Nuclear Accident. National Report to the Convention on Nuclear Safety (2012), http://www.aerb.gov.in/AERBPortal/pages/English/t/documents/CNS2012.pdf

[36] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Extreme External Events in the Design and Assessment of Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1341, IAEA, Vienna (2003).

[37] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Reporting System for Operating Experience (2014) (unpublished).

[38] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Follow-up IAEA Mission in Relation to the Findings and Lessons Learned from the 16 July 2007 Earthquake at Kashiwazaki-Kariwa NPP, IAEA, Vienna (2009).

[39] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, IAEA, Vienna (1996).

[40] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants: 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG-12, IAEA, Vienna (1999).

[41] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Severe Accident Management Programmes for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.15, IAEA, Vienna (2009).

[42] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Reactor and Spent Fuel Safety in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2012).

[43] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Conference on Topical Issues in Nuclear Installation Safety: Defence in Depth — Advances and Challenges for Nuclear Installation Safety, IAEA-TECDOC-CD-1749, IAEA, Vienna (2014).

[44] SANDIA NATIONAL LABORATORIES, Fukushima Daiichi Accident Study (Status as of April 2012) SAND2012-6173, SNL, Albuquerque, NM (2012).

[45] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Fukushima Technical Evaluation, Phase 1 — MAAP5 Analysis, EPRI, Palo Alto (2013).

[46] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Report on the Investigation and Study of Unconfirmed/Unclear Matters in the Fukushima Nuclear Accident. Progress Rep. No. 2 (2014), http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu14_e/images/140806e0101.pdf

[47] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-3, IAEA, Vienna (2010).

[٤٨] مسرد مصطلحات الأمان الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية: المصطلحات المستخدمة في مجالي الأمان النووي والوقاية من الإشعاعات: طبعة ٢٠٠٧، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٧).

[49] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Development and Application of Level 2 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-4, IAEA, Vienna (2010).

[50] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Nuclear Power Plants: Operation, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-2, IAEA, Vienna (2000). (This publication is superseded by SSR-2/2 (2011)).

[51] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Integrated Regulatory Review Service (IRRS) to Japan, IAEA-NSNI-IRRS-2007/01, IAEA, Vienna (2007).

[52] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.10, IAEA, Vienna (2003). (This publication is superseded by SSG-25 (2013)).

[53] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from the JCO Nuclear Criticality Accident in Japan in 1999 (2009), http://www-ns.iaea.org/downloads/iec/tokaimura-report.pdf

[54] SHIROYAMA, H., “Regulatory failures of nuclear safety in Japan — the case of Fukushima accident”, paper presented at Earth System Governance Tokyo Conf.: Complex Architectures, Multiple Agents, Tokyo (2013), http://tokyo2013.earthsystemgovernance.org/wp-content/uploads/2013/01/0202-SHIROYAMA_Hideaki-.pdf

[55] GOVERNMENT OF JAPAN, Convention on Nuclear Safety National Report of Japan for the Fifth Review Meeting (2010), http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/NSCenglish/documents/conventions/2011.pdf

[56] KATO, S., “Recent development in safety regulation of nuclear fuel cycle activities”, Proc. Int. Conf. on Topical Issues in Nuclear Safety, Vienna, 2001, IAEA, Vienna (2002).

[٥٧] الإطار الحكومي والرقابي والقانوني للأمان، GSR Part 1، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، فيينا (٢٠١٠).

[58] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants: Experience of Member States, IAEA-TECDOC-1643, IAEA, Vienna (2010).

[59] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, FY2012 Annual Report, NRA, Tokyo (2012).

[60] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Enforcement of the New Regulatory Requirements for Commercial Nuclear Power Reactors (2013), http://www.nsr.go.jp/data/000067212.pdf

[٦١] الفريق الاستشاري الدولي للأمان النووي، ثقافة الأمان، العدد ٧٥-INSAG-4، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (١٩٩١).

[62] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.5, IAEA, Vienna (2009).

[63] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Developing Safety Culture in Nuclear Activities: Practical Suggestions to Assist Progress, Safety Reports Series No. 11, IAEA, Vienna (1998).

[64] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Culture in Nuclear Installations, IAEA-TECDOC-1329, IAEA, Vienna (2002).

[65] INSTITUTE OF NUCLEAR POWER OPERATIONS, Lessons Learned from the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, INPO 11-005 Addendum, INPO, Atlanta (2012).

[66] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, A Comparison of US and Japanese Regulatory Requirements in Effect at the Time of the Fukushima Accident, NRC, Washington, DC (2013).

[67] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Human and Organizational Factors in Nuclear Safety in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2014).

[68] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH

ORGANIZATION, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna (2007).

[٦٩] منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومنظمة العمل الدولية، ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ومنظمة الصحة للبلدان الأمريكية، ومكتب الأمم المتحدة لتنسيق الشؤون الإنسانية، ومنظمة الصحة العالمية، التأهب للطوارئ النووية أو الإشعاعية والتصدي لها، العدد GS-R-2 من سلسلة الأمان، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٢).

[70] Disaster Countermeasures Basic Act, Act No. 223 of 15 November 1961, as last amended in 1997 (Japan), http://www.adrc.asia/documents/law/DisasterCountermeasuresBasicAct.pdf

[71] Ordinance for Enforcement of the Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness No. 2 of April 5, 2000 (Japan) (in Japanese), http://law.e-gov.go.jp/haishi/H12F03103016002.html

[72] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Comment received on Section 3.1 on Technical Volume 3, official communication (23 July 2014).

[73] GOVERNMENT OF JAPAN, Nuclear Emergency Response Manual, Government of Japan (2010) (in Japanese).

[74] FUKUSHIMA PREFECTURE, Fukushima Prefecture Disaster Management Plan (2009) (in Japanese).

[75] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Nuclear Operator Emergency Action Plan for the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station, TEPCO, Tokyo (2010).

[76] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Specific Event Report, Fax No. 0042 (11 March 2011).

[77] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Report from Nuclear Power Plant Management of TEPCO to Minister of Economy, Trade and Industry, Fax No. 1560 (11 March 2011).

[78] GOVERNMENT OF JAPAN, CENTRAL DISASTER MANAGEMENT COUNCIL, The Basic Disaster Management Plan, Government of Japan, Tokyo (2008).

[79] GOVERNMENT OF JAPAN, Official web site of the Prime Minister of Japan and His Cabinet (2015), http://japan.kantei.go.jp/index.html

[80] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, About NISA (2015), http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/english/aboutnisa/contact.html

[81] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, TEPCO at a Glance (2015), http://www.tepco.co.jp/en/corpinfo/overview/p-glance-e.html

[82] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, About the Nuclear Safety Commission (2015), http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/NSCenglish/aboutus/overview/overview.htm

[83] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, About JNES (2015), http://www.nsr.go.jp/archive/jnes/english/index.html

[84] MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY, Home page of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (2015), http://www.mext.go.jp/english/

[85] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Home page of the Ministry of Health, Labour and Welfare (2015), http://www.mhlw.go.jp/english/

[86] MINISTRY OF AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES, Home page of the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (2015), http://www.maff.go.jp/e/

[٨٧] وزارة البيئة، الصفحة الرئيسية للموقع الإلكتروني لوزارة البيئة، (٢٠١٥)، http://www.env.go.jp/en/

[٨٨] وزارة الدفاع، الصفحة الرئيسية للموقع الإلكتروني لوزارة الدفاع اليابانية (٢٠١٥)، http://www.mod.go.jp/e/index.html

[٨٩] وكالة الأرصاد الجوية اليابانية، الصفحة الرئيسية للموقع الإلكتروني لوكالة الأرصاد الجوية اليابانية (٢٠١٥)، http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html

[٩٠] الوكالة اليابانية للطاقة الذرية، الصفحة الرئيسية للموقع الإلكتروني للوكالة اليابانية للطاقة الذرية (٢٠١٥)، http://www.jaea.go.jp/english/index.html

[٩١] المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية، الصفحة الرئيسية للموقع الإلكتروني للمعهد الوطني للعلوم الإشعاعية (٢٠١٥)، http://www.nirs.go.jp/ENG/index.shtml

[92] JAPAN NUCLEAR ENERGY SAFETY ORGANIZATION, Initial Operations in the Local Nuclear Emergency Response Headquarters (2013), https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000124530.pdf

[93] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Regulatory Guide: Emergency Preparedness for Nuclear Facilities, NSC, Tokyo (1980).

[94] Ordinance on Prevention of Ionizing Radiation Hazards, Ordinance of the Ministry of Labour No. 41 of September 30, 1972, as last amended by Ordinance No. 172 of July 16, 2001 (Japan) (in Japanese), http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S47/S47F04101000041.html

[95] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Enforcement of the Ministerial Ordinance on Exemption of the Ordinance on Prevention of Ionizing Radiation Hazards in Response to the Situation Resulting from the Tohoku–Pacific Ocean Earthquake in 2011 (2011), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/tepco/rp/ri_0315_07.html

[96] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Consultation with and Recommendation from the Labor Policy Council on "the Outline of the Draft Ministerial Ordinance for Abolishment of Exemption in the Ordinance on Prevention of Ionizing Radiation Hazards in Response to the Situation Resulting from the Tohoku–Pacific Ocean Earthquake in 2011" (2011), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/tepco/rp/pr_111121.html

[97] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Response and Action Taken by the MHLW of Japan on Radiation Protection for Workers Involved in the TEPCO Fukushima Daiichi NPP Accident, MHLW, Tokyo (2013).

[98] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Progress of the "Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Residents Affected by the Nuclear Incident" (2011). http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110719_assistance_03.pdf

[99] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Progress of the "Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Residents Affected by the Nuclear Incident" (2011). http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110617roadmap_assistance_report.pdf

[100] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Status of Improvement on Working Environment of workers in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (Attachment 2: About Cool Vest) (2011), http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11061013-e.html

[101] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Progress Status of Cooling (Reactors) (2011), http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/110517e5.pdf

[102] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Occupational Safety and Health Department Notification (2011), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/dr/dr/ri_0909_01.html

[103] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Guidelines on Prevention of Radiation Hazards for Workers Engaged in Decontamination Works (2011), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/dr/dr/pr_120615_a03.pdf

[104] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, WG3 question 4, 1st submission, official communication (2013).

[105] GOVERNMENT OF JAPAN, WG3 question 5, 6th submission, official communication (2014).

[106] WATANABE, Y., "Relief activities conducted by the Japanese Red Cross Society after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and the challenges for the future", IAEA Report on Severe Accident Management in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2015).

[107] TOMINAGA, T., HACHIYA, M., AKASHI, M., Lessons learned from response to the accident at the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: from the viewpoint of radiation emergency medicine and combined disaster, Radiat. Emergency Med. 1 1–2 (2012) 56–61.

[108] TANIGAWA, K., HASEGAWA, A., "Medical perspective", Radiation Disaster Medicine (TANIGAWA, K., CHHEM, R. K., Eds), Springer, Heidelberg (2014).

[109] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, WG3 question 7, 1st submission, official communication (2013).

[110] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Handling of Food Contaminated by Radioactivity (2011). http://www.mhlw.go.jp/english/topics/foodsafety/dl/food-110317.pdf

[111] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Issuance of Instruction to Restrict Distribution of Foods Concerned, in Relation to the Accident at Fukushima Nuclear Power Plant (2011), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/food-110321.pdf

[112] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Restriction of Distribution and/or Consumption of Foods Concerned in Fukushima and Ibaraki Prefectures (2011), http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000015wun-att/2r98520000015xym.pdf

[113] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Monitoring of Radioactive Contaminants for Agricultural and Livestock Products (2011), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/food-110323.pdf

[114] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Handling of Provisional Regulation Values for Radioactive Iodine in Fishery Products (2011), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/food-110405.pdf

[115] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, New Standard Limits for Radionuclides in Foods (2012), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/new_standard.pdf

[116] NATIONAL INSTITUTE OF RADIOLOGICAL SCIENCES, Telephone Consultations on Radiation Exposure: Report on Tabulated Results from the Year Following the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Disaster (2014), http://www.nirs.go.jp/publication/irregular/pdf/nirs_m_265en.pdf

[117] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Issues in Public Communications Activities and Future Efforts Related to the Accident at the TEPCO's Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station, NISA, Tokyo (2012) (in Japanese).

[118] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Progress of the "Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Residents Affected by the Nuclear Incident" (2011), http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110817_assistance_02.pdf

[119] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Progress of the "Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Residents Affected by the Nuclear Incident" (2011), http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110920_assistance_02.pdf

[١٢٠] منظمة التجارة الخارجية اليابانية، تأثير زلزال شرق اليابان الكبير على قطاع الأعمال الدولي (٢٠١٤) (باللغة اليابانية)، www.jetro.go.jp/world/shinsai/20110318_11.html

[121] GOVERNMENT OF JAPAN, National Report of Japan to the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management (2011), http://www.nsr.go.jp/english/cooperation/conventions/data/jc_4th.pdf

[122] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Near-term Policy to Ensure the Safety in Treating and Disposing Contaminated Waste around the Site of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants, NSC, Tokyo (2011).

[123] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Basic Policy for Emergency Response on Decontamination Work (2011), http://www.kantei.go.jp/jp/singi/genshiryoku/dai19/19_03_gensai.pdf

[124] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Act on Special Measures Concerning the Handling of Environmental Pollution by Radioactive Materials Discharged by the Nuclear Power Station Accident Associated with the Tohoku District — Off the Pacific Ocean Earthquake that Occurred on March 11, 2011, Act No. 110 as of 2011 (Japan).

[125] ATOMIC ENERGY SOCIETY OF JAPAN, Final Report of the AESJ Investigation Committee (Announcement) (2014), http://www.aesj.or.jp/en/announcement/finalreport20141119.pdf

[126] INDEPENDENT INVESTIGATION COMMISSION ON THE FUKUSHIMA NUCLEAR ACCIDENT, The Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Disaster: Investigating the Myth and Reality, Routledge, London and New York (2014).

[127] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations, Publication 109, Pergamon Press, Oxford and New York (2009).

[128] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Basic Policy of the Nuclear Safety Commission of Japan on Radiation Protection for Termination of Evacuation and Reconstruction (2011), http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/NSCenglish/geje/20110719suggest_4.pdf

[129] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, Elsevier, Oxford (2007).

[130] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Nuclear Sufferers (2011), http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110517roadmap_assistance.pdf

[131] MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY, Plan to Conduct Detailed Monitoring in Restricted Area and Planned Evacuation Zone (2011), http://www.mext.go.jp/component/english/__icsFiles/afieldfile/2011/06/29/1304084_0613.pdf

[132] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Lifting the Evacuation-Prepared Area in Case of Emergency Designation (2011), http://www.reconstruction.go.jp/topics/41gennshiryoku.pdf

[١٣٣] لجنة التأهب للطوارئ النووية، دليل التصدي للطوارئ النووية (٢٠١٢) (باللغة اليابانية)، http://www.kantei.go.jp/jp/singi/genshiryoku_bousai/pdf/taisaku_manual.pdf

[134] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, National Report to the 6th Review Meeting of the Convention on Nuclear Safety (2013), http://www.nsr.go.jp/english/cooperation/conventions/data/cns_6th.pdf

[١٣٥] هيئة الأمان النووي، تقرير مؤقت بشأن استعراض "الدليل الرقابي: التأهب للطوارئ في المرافق النووية" (٢٠١٢) (باللغة اليابانية)، http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/NSCenglish/geje/20120322review_3.pdf

[١٣٦] هيئة الرقابة النووية، مبادئ توجيهية للتصدي للطوارئ النووية (٢٠١٢) (باللغة اليابانية)، http://www.nsr.go.jp/activity/bousai/data/130905_saitaishishin.pdf

[١٣٧] منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة والوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة العمل الدولية ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي ومنظمة الصحة للبلدان الأمريكية ومنظمة الصحة العالمية، معايير الأمان الأساسية للوقاية من الإشعاعات المؤينة ولأمان المصادر الإشعاعية، العدد ١١٥ من سلسلة وثائق الأمان الصادرة عن الوكالة، فيينا (١٩٩٦) (هذا المنشور حل محله العدد GSR Part 3 (2014)).

[١٣٨] اتفاقية التبليغ المبكر عن وقوع حادث نووي، الوثيقة INFCIRC/335، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (١٩٨٦).

[١٣٩] اتفاقية تقديم المساعدة في حالة وقوع حادث نووي أو طارئ إشعاعي، الوثيقة INFCIRC/336، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (١٩٨٦).

[140] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Joint Radiation Emergency Management Plan of the International Organizations, EPR-JPLAN, IAEA, Vienna (2010).

[141] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Emergency Notification and Assistance Technical Operations Manual, EPR-ENATOM (2007), IAEA, Vienna (2007).

[142] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Response and Assistance Network (2010),
http://www-ns.iaea.org/downloads/iec/info-brochures/13-27031-ranet.pdf

[١٤٣] أنشطة الوكالة للتصدي لحادث فوكوشيما، الوثيقة GOV/INF/2011/8، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١١).

[١٤٤] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي (٢٠١١)،
http://www.iaea.org/sites/default/files/actionplanns.pdf

[145] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Patterns in Governmental Decisions and Recommendations (GDR) Information Exchange during the Fukushima NPP Accident, NEA/CRPPH(2012)3, OECD, Paris (2012).

[146] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Preliminary Dose Estimation from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, WHO, Geneva (2012).

[147] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Based on a Preliminary Dose Estimation, WHO, Geneva (2013).

[148] UNITED NATIONS, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 2013 Report, Vol. I, Scientific Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2014).

[149] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Report of ICRP Task Group 84 on Initial Lessons Learned from the Nuclear Power Plant Accident in Japan vis-à-vis the ICRP System of Radiological Protection, ICRP, Ottawa (2012).

[150] GONZÁLEZ, A.J., AKASHI, M., BOICE, J.D., Jr., CHINO, M., HOMMA, T., ISHIGURE, N., KAI, M., KUSUMI, S., LEE, J.-K., MENZEL, H.-G., NIWA, O., SAKAI, K., WEISS, W., YAMASHITA, S., YONEKURA, Y., Radiological protection issues arising during and after the Fukushima nuclear reactor accident, J. Radiol. Prot. 33 3 (2013) 497–571.

[151] UNITED NATIONS, FAO/IAEA Food Database, UNSCEAR 2013 Report, Attachment C-8 of Annex A:, Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident After the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2014).

[152] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Evaluation of Meteorological Analyses for the Radionuclide Dispersion and Deposition from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, WMO, Geneva (2013).

[153] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, OECD/NEA Response and Lessons Learnt", Paris (2013).

[١٥٤] منظمة الصحة العالمية، دلائل جودة مياه الشرب، الطبعة الثالثة، منظمة الصحة العالمية، جنيف (٢٠٠٨).

[155] General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed of 1995, as last amended 2013, Codex Alimentarius Commission, http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/CXS_193e.pdf

[156] JAPAN HEALTH PHYSICS SOCIETY, Issues Associated with Radiation Protection after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Disaster: Responses of and Recommendations from Japan Health Physics Society, JHPS (2012).

[157] YASUMURA, S., "Overview of Fukushima Health Management Survey", paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima (2014), http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/5_S2_Yasumura_FINAL(0909).pdf

[158] FUKUSHIMA PREFECTURE, Agenda, 3rd Meeting of the Oversight Committee for the Fukushima Health Management Survey (2011) (in Japanese), http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/6497.pdf

[159] SASAKAWA, Y., International Expert Symposium in Fukushima, September 2011, J. Radiol. Prot. 32 1 (2012) E7–E8.

[160] Conclusions and recommendations of the International Expert Symposium in Fukushima: Radiation and Health Risks, J. Radiol. Prot. 31 4 (2011) 381–384.

[161] FUKUSHIMA PREFECTURE, Terms of Reference of the Committee for the Fukushima Health Management Survey (2011) (in Japanese), http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/65128.pdf

[162] FUKUSHIMA MEDICAL UNIVERSITY, Basic Survey (Radiation Dose Estimates), 19th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey, Fukushima, Japan, (2015),

http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/media/19-1_Basic_Survey.pdf

[163] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Radiation Quantities and Units, ICRU Rep. 33, Bethesda, MD (1980).

[164] INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, Convention Concerning the Protection of Workers against Ionising Radiations, No. 115, ILO, Geneva (1960).

[165] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 2008 Report, Vol. I, Annexes A and B, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2010).

[166] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION MEASUREMENTS, Uncertainties in Fatal Cancer Risk Estimates Used in Radiation Protection, NCRP Rep. No. 126, NCRP, Bethesda, MA (1997).

[167] UNITED NATIONS, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, A/67/46, UN, New York (2012).

[168] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 1977 Report, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (1977).

[169] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The International Chernobyl Project: Technical Report, IAEA, Vienna (1991).

[170] ESLINGER, P.W., et al., Source term estimation of radioxenon released from the Fukushima Dai-ichi nuclear reactors using measured air concentrations and atmospheric transport modeling, J. Environ. Radioact. 127 (2014) 127–132.

[171] STOHL, A., et al., Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: Determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition, Atmos. Chem. Phys. 12 5 (2012) 2313–2343.

[172] BOWYER, T. W., et al., Elevated radioxenon detected remotely following the Fukushima Nuclear accident, J. Environ. Radioact. 102 7 (2011) 681–687.

[173] SCHÖPPNER, M., et al., Estimation of the time-dependent radioactive source-term from the Fukushima nuclear power plant accident using atmospheric transport modelling, J. Environ. Radioact. 114 (2012) 10–14.

[174] TERADA, H., KATATA, G., CHINO, M., NAGAI, H., Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. Part II: Verification of the source term and analysis of regional-scale atmospheric dispersion, J. Environ. Radioact. 112 (2012) 141–154.

[175] SCIENCE COUNCIL OF JAPAN, A Review of the Model Comparison of Transportation and Deposition of Radioactive Materials Released to the Environment as a Result of the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident (2014), http://www.jpgu.org/scj/report/20140902scj_report_e.pdf

[176] CHINO, M., et al., Preliminary estimation of release amounts of 131I and 137Cs accidentally discharged from the Fukushima Daiichi nuclear power plant into the atmosphere, J. Nucl. Sci. Technol. 48 7 (2011) 1129–1134.

[177] BUESSELER, K., AOYAMA, M., FUKASAWA, M., Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity, Environ. Sci. Technol. 45 23 (2011) 9931–9935.

[178] EUROPEAN COMMISSION, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, WORLD HEALTH ORGANIZATION, One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident, IAEA, Vienna (1996).

[179] Chernobyl: Looking Back to Go Forward (Proc. Int. Conf Vienna, 2005), IAEA, Vienna (2005).

[180] INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE, Accident de la Centrale de Fukushima Daiichi: Modélisation de la Dispersion des Rejets Radioactifs dans l'Atmosphère à l'Échelle Mondiale (2011).
http://www.irsn.fr/FR/popup/Pages/irsn-meteo-france_30mars.aspx

[181] Exploring the Impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant on the Ocean (Proc. Fukushima Ocean Impacts Symp. Tokyo, 2012), Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA (2012).

[182] MADIGAN, D.J., BAUMANN, Z., FISHER, N.S., Pacific bluefin tuna transport Fukushima-derived radionuclides from Japan to California, Proceedings of the National Academy of Sciences 109 24 (2012) 9483-9486.

[183] MASUMOTO, Y., "Ocean models: How far/fast does Fukushima contamination travel?", Exploring the Impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants on the Ocean (Proc. Fukushima Ocean Impacts Symp.Tokyo, 2012), Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA (2012).

[184] MASUMOTO, Y., et al., Oceanic dispersion simulations of 137Cs released from the Fukushima Daiichi nuclear power plant, Elements 8 3 (2012) 207–212.

[185] HONDA, M.C., AONO, T., AOYAMA, M., Dispersion of artificial caesium-134 and -137 in the Western North Pacific one month after the Fukushima accident, Geochem. J. 46 6 (2012) e1–9.

[186] RYPINA, I.I., et al., Short-term dispersal of Fukushima-derived radionuclides off Japan: modeling efforts and model-data intercomparison, Biogeosciences 10 1 (2013) 4973–4990.

[187] AOYAMA, M., HIROSE, K., IGARASHI, Y., Re-construction and updating our understanding on the global weapons tests 137Cs fallout, J. Environ. Monitor. 8 4 (2006) 431–438.

[188] BUESSELER, K., AOYAMA, M., "Fukushima results", Exploring the impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants on the Ocean (Proc. Fukushima Ocean Impacts Symp. Tokyo, 2012), Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA (2012).

[189] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Radiation Monitoring Information. Monitoring Information of Environmental Radioactivity Level, NRA (2015) (in Japanese),
http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/191/list-1.html

[190] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 2000 Report, Vol. I, Sources, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2000).

[191] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Reading of Radioactivity Level in Fallout by Prefecture (2011-2015), http://radioactivity.nsr.go.jp/en/list/194/list-1.html

[192] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Airborne Monitorin, http://radioactivity.nsr.go.jp/en/list/278/list-1.html

[193] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Notice No. 0315 Article 1 of the Department of Food Safety (2012), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/food-120821_1.pdf

[194] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Mission Report: Project NSRW 9/13 Assistance in the Use of Radiation Monitoring Data to Develop Maps to be Made Available to the Public, Fukushima Prefecture, 16–19 December 2013 (unpublished).

[195] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, The Survey Results of Radioactive Materials in Tap Water, MHLW, Tokyo (2011).

[196] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, Pergamon Press, Oxford and New York (1991).

[١٩٧] اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات، تطبيق توصيات اللجنة في حماية الناس الذين يعيشون لآماد طويلة في المناطق الملوثة إشعاعيا بعد وقوع حادث نووي أو عقب حالة طوارئ إشعاعية، المطبوعة ١١١، اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات، (٢٠١١).

[198] EUROPEAN COMMISSION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna (2014).

[199] AKASHI, M., TOMINAGA, T., HACHIYA, M., TATSUZAKI, H., "Medical management of the consequences of the Fukushima nuclear plant incident", Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (Proc. 5th Int. REAC/TS Symp. Oak Ridge, 2013), Oak Ridge, TN (2013).

[200] YASUMURA, S., GOTO, A., YAMAZAKI, S., REICH, M.R., Excess mortality among relocated institutionalized elderly after the Fukushima nuclear disaster, Public Health 127 2 (2013) 186–188.

[201] NOMURA, S., et al., Mortality risk amongst nursing home residents evacuated after the Fukushima Nuclear accident: A retrospective cohort study, PLoS ONE 8 3 (2013) e60192.

[202] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency, Publication 63, Pergamon Press, Oxford and New York (1993).

[203] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Publication and Enforcement of "the Ministerial Ordinance for Abolishment of Exemption in the Ordinance on Prevention of Ionizing Radiation Hazards in Response to the Situation Resulting from the Tohoku–Pacific Ocean Earthquake in 2011" (2011), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/tepco/rp/pr_111216.html

[204] AKAHANE, K., et al., NIRS external dose estimation system for Fukushima residents after the Fukushima Dai-ichi NPP accident, Sci. Rep. 3 (2013) 1670.

[205] ISHIKAWA, T., "The basic survey: Estimation of external doses to residents in Fukushima Prefecture", paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima, 2014 , http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/6_S2_Ishikawa.pdf

[206] NAGATAKI, S., TAKAMURA, N., KAMIYA, K., AKASHI, M., Measurements of individual radiation doses in residents living around the Fukushima nuclear power plant, Radiat. Res. 180 5 (2013) 439–447.

[207] FUKUSHIMA MEDICAL UNIVERSITY, "Response rates to the basic survey by district. Data as of 31 December 2014" (Proc. 18th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey Fukushima, 2015), https://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/media/18-1_Basic_Survey_Appendix.pdf

[208] FUKUSHIMA MEDICAL UNIVERSITY, "Basic survey (radiation dose estimates)" (Proc. 18th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey Fukushima, 2015) (2015), http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/media/18-1_Basic_Survey.pdf

[209] DATE CITY, Newsletter on Recovery and Revival in Date City No. 8: Analyses on Measurement of Annual Dose from External Exposure (2013) (in Japanese), http://www.city.date.fukushima.jp/uploaded/attachment/10035.pdf

[210] TSUBOKURA, M., et al., Absence of internal radiation contamination by radioactive cesium among children affected by the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster, Health Phys 108 1 (2015) 39–43.

[211] HAYANO, R.S., et al., Whole-body counter survey results 4 months after the Fukushima Dai-ichi NPP accident in Minamisoma City, Fukushima, J. Radiol. Prot. 34 4 (2014) 787.

[212] HAYANO, R. S., et al., Internal radiocesium contamination of adults and children in Fukushima 7 to 20 months after the Fukushima NPP accident as measured by extensive whole-body-counter surveys, Proc. Jpn Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci. 89 4 (2013) 157–163.

[213] MATSUDA, N., et al., Assessment of internal exposure doses in Fukushima by a whole body counter within one month after the nuclear power plant accident, J. Radiat. Res. 179 6 (2013) 663–668.

[214] KIM, E., et al., “Screening survey on thyroid exposure for children after the Fukushima Daiichi nuclear power station accident”, Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident (Proc. 1st NIRS Symp.) (KURIHARA, O., AKAHANE, K., FUKUDA, S., MIYAHARA, N., YONAI, S., Eds), National Institute of Radiological Sciences, Chiba (2012) 59–66 .

[215] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Updated worker doses, official communication (2015).

[216] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Evaluation of the Exposure Dose of Workers at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Attachment: Distribution of Thyroid Equivalent Doses (2015), http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2015/1248073_6844.html

[217] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Re-evaluation Results of Committed Doses for Emergency Workers at the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (2013), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/tepco/rp/pr_130705_a02.pdf

[218] YASUI, S., Governmental re-evaluation of the committed effective dose received by emergency workers at the TEPCO Fukushima Daiichi NPP accident, J. Occupat. Environ. Hyg. 12 5 (2015) D60–D70.

[219] DEFENSE THREAT REDUCTION AGENCY, Radiation Dose Assessments for Shore-based Individuals in Operation Tomodachi, DTRA-TR-12-001, DTRA, Fort Belvoir, VA (2012).

[220] HASHIMOTO, S., et al., “First two-year result of the comprehensive health check as one facet of the Fukushima Health Management Survey” paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima, 2014 , http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/7_S2_Hashimoto_FINAL(0909).pdf

[221] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, ICRP Statement on Tissue Reactions/Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs: Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context, Publication 118, Elsevier, Oxford (2012).

[222] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Result of the Investigation on Exposure to Radiation of Workers from Cooperative Companies at Unit 3 in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (2011), http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11032503-e.html

[223] UNITED NATIONS, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, A/68/46, UN, New York (2013).

[224] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk, Publication 99, Elsevier, Oxford (2005).

[225] UNITED NATIONS, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, A/63/46, UN, New York (2008).

[226] SUZUKI, S., et al., “Three-Year Results and Future Scope of the Fukushima Thyroid Ultrasound Examination after the Fukushima NPP Accident”, paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima (2014). http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/9_S2_Suzuki_FINAL(0909).pdf

[227] HAYASHIDA, N., et al., Thyroid ultrasound findings in a follow-up survey of children from three Japanese Prefectures: Aomori, Yamanashi, and Nagasaki, Sci. Rep. 5 (2015).

[228] FUKUSHIMA PREFECTURE, Proc. 18th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey (2015), http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/20150212_Thyroid_Ultrasound_Examination.html

[229] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Pregnancy and Medical Radiation, Publication 84, Pergamon Press, Oxford and New York (2000).

[230] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother, Publication 88, Pergamon Press, Oxford and New York (2001).

[231] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Biological Effects after Prenatal Irradiation (Embryo and Foetus), Publication 90, Pergamon Press, Oxford and New York (2003).

[232] NOMURA, Y., “Pregnancy and birth survey (by the Radiation Medical Science Center for the Fukushima Health Management Survey)”, paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima, 2014， http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/10_S2_Nomura_FINAL(0909).pdf

[233] NOMURA, Y., FUJIMORI, K., Survey of pregnant women in Fukushima Prefecture and future issues, Fukushima J. Med. Sci. 60 2 (2014) 213.

[234] YASUMURA, S., et al., Study protocol for the Fukushima Health Management Survey, J. Epidemiol. 22 5 (2012) 375–383.

[235] KAWAKAMI, N., Mental Health of Residents Living in Shelters, Japan Epidemiological Association, Tokyo (2014).

[236] YABE, H., et al., Psychological distress after the Great East Japan Earthquake and Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: results of a Mental Health and Lifestyle Survey through the Fukushima Health Management Survey in FY2011 and FY2012, Fukushima J. Med. Sci. 60 1 (2014) 57–67.

[237] KAWAKAMI, N., TSUCHIYA, M., UMEDA, M., KOENEN, K.C., KESSLER, R.C., Trauma and posttraumatic stress disorder in Japan: results from the World Mental Health Japan Survey, J. Psychiatr. Res. 53 (2014) 157–165.

[238] IWADARE, Y., et al., Posttraumatic symptoms in elementary and junior high school children after the 2011 Japan earthquake and tsunami: Symptom severity and recovery vary by age and sex, J. Pediatrics 164 4 (2014) 917–921.

[239] BROMET, E.J., Emotional consequences of nuclear power plant disasters, Health Phys. 106 2 (2014) 206–210.

[240] GOTO, A., et al., Maternal confidence of Fukushima mothers before and after the nuclear power plant disaster in Northeast Japan: analyses of municipal health records, J. Commun. Healthcare 7 2 (2014) 106–116.

[241] BROMET, E. J., et al., Cross-national epidemiology of DSM-IV major depressive episode, BMC Med. 9 1 (2011) 90.

[242] SHIGEMURA, J., TANIGAWA, T., SAITO, I., NOMURA, S., Psychological distress in workers at the Fukushima nuclear power plants, JAMA 308 7 (2012) 667–669.

[243] SHIGEMURA, J., et al., Associations between disaster exposures, peritraumatic distress, and posttraumatic stress responses in Fukushima nuclear plant workers following the 2011 nuclear accident: the Fukushima NEWS project study, PLoS One 9 2 (2014) e87516.

[244] MATSUOKA, Y., et al., Concern over radiation exposure and psychological distress among rescue workers following the Great East Japan Earthquake, BMC Public Health 12 (2012) 249.

[245] BROMET, E.J., Mental health consequences of the Chernobyl disaster, J Radiol Prot 32 1 (2012) N71–75.

[246] BROMET, E.J., HAVENAAR, J. M., Psychological and perceived health effects of the Chernobyl disaster: A 20-year review, Health Phys 93 5 (2007) 516–521.

[247] BROMET, E.J., HAVENAAR, J. M., GUEY, L. T., A 25 year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident, Clin. Oncol. 23 4 (2011) 297–305.

[248] MAEDA, M., et al., "Psychological effects on people in Fukushima: Results of a mental health and lifestyle survey", paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima, 2014 ,
http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/8_S2_Maeda_FINAL(0909).pdf

[249] KESSLER, R.C., et al., Screening for serious mental illness in the general population, Arch. Gen. Psychiat. 60 2 (2003) 184–189.

[250] BLANCHARD, E.B., JONES-ALEXANDER, J., BUCKLEY, T.C., FORNERIS, C.A., Psychometric properties of the PTSD checklist (PCL), Behav. Res. Ther. 34 8 (1996) 669–673.

[251] EWING, J.A., Detecting alcoholism. The CAGE questionnaire, JAMA 252 14 (1984) 1905–1907.

[252] GOODMAN, R., Psychometric properties of the strengths and difficulties questionnaire, J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry 40 11 (2001) 1337–1345.

[253] MATSUISHI, T., et al., Scale properties of the Japanese version of the strengths and difficulties questionnaire (SDQ): A study of infant and school children in community samples, Brain Dev. 30 6 (2008) 410–415.

[254] OGURI, K., et al., Hadal disturbance in the Japan Trench induced by the 2011 Tohoku–Oki earthquake, Sci. Rep. 3 (2013).

[255] BIODIVERSITY CENTER OF JAPAN, Official web site about the effect of the earthquake and the tsunami (in Japanese), http://www.shiokaze.biodic.go.jp

[256] NAKAJIMA, H., KOARAI, M., Assessment of tsunami flood situation from the Great East Japan Earthquake, Bull. Geosp. Inf. Auth. Jpn. 59 (2011) 55–66.

[257] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species, Publication 91, Pergamon Press, Oxford and New York (2003).

[258] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Protection of the Environment Under Different Exposure Situations, Publication 124, Pergamon Press, Oxford and New York (2014).

[259] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants, Publication 114, Elsevier, Oxford (2009).

[260] LINKOV, I., BURMISTROV, D., Model uncertainty and choices made by modelers: Lessons learned from the International Atomic Energy Agency model intercomparisons, Risk Anal. 23 6 (2003) 1297–1308.

[261] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 2008 Report, Vol. II, Scientific Annexes C, D and E, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2011).

[262] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 1996 Report, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (1996).

[263] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (Interim Edition), IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3 (Interim), IAEA, Vienna (2011). (This publication is superseded by GSR Part 3 (2014)).

[264] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Summary Report of the Preliminary Findings of the IAEA Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-site the Fukushima Dai-ichi NPP (2011), https://www.iaea.org/sites/default/files/preliminaryfindings2011.pdf

[265] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Follow-up IAEA International Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-Site the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (2013), https://www.iaea.org/sites/default/files/final_report230114.pdf

[266] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Basic Principles of the Act on Special Measures Concerning the Handling of Environment Pollution by Radioactive Materials Discharged from

the Nuclear Power Station Accident Associated with the Tohoku District—Off the Pacific Ocean Earthquake that Occurred on March 11, 2011 (2011), http://josen.env.go.jp/en/framework/pdf/basic_principles.pdf

[267] GOLIKOV, V., et al., Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms, Radiat. Environ. Biophys 46 4 (2007) 375–382.

[268] CABINET OFFICE, "Designating and rearranging the areas of evacuation", paper presented at Follow-up IAEA International Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-Site the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Tokyo and Fukushima Prefecture, 2013.

[269] FUKUSHIMA PREFECTURE, Steps for Revitalization in Fukushima (2014), http://www.pref.fukushima.lg.jp.e.od.hp.transer.com/sec/11015b/fukkoukeikaku1081.html

[270] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Areas to which Evacuation Orders have been Issued (2013), http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/20130807_01.pdf

[271] JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY, Use of Knowledge and Experience Gained from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident to Establish the Technical Basis for Strategic Off-Site Response (2015), http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5049878

[272] JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY, Remediation of Contaminated Areas in the Aftermath of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Overview, Analysis and Lessons Learned, Part 1: A Report on the “Decontamination Pilot Project”, JAEA-Review 2014-051, JAEA, Tokyo (2015).

[273] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Progress on Off-site Clean-up Efforts in Japan (2015), http://josen.env.go.jp/en/pdf/progressseet_progress_on_cleanup_efforts.pdf?150113

[274] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Unit prices for decontamination in the Special Decontamination Areas)SDAs(directly controlled by the national government, official communication (2015).

[275] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4, TEPCO (2011 ,(http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/111221_02.pdf

[276] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Revised Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4 (2013), http://josen.env.go.jp/en/documents/pdf/workshop_july_17-18_2013_02.pdf

[277] INTER-MINISTERIAL COUNCIL FOR CONTAMINATED WATER AND DECOMMISSIONING ISSUES, Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (2015).

[278] Act for Establishment of the Nuclear Regulation Authority, Act No. 47, 27 June, 2012, as amended by Act No. 82 of 2013 (Japan), https://www.nsr.go.jp/data/000067231.pdf

[279] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Implementation Plan of the Measures to be taken at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Designated as a Specified Reactor Facility (Outline) (2012), http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/images/handouts_12120701-e.pdf

[280] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Measures for Mid-Term Risk Reduction at TEPCO's Fukushima Daiichi NPS (2015), http://www.nsr.go.jp/data/000098679.pdf

[281] CONTAMINATED WATER TREATMENT MEASURES COMMITTEE, Measures for the Prevention of Groundwater Inflow, TEPCO (2012).

[282] GOVERNMENT OF JAPAN, TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Progress Status and Future Challenges of Mid-to-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of Units 1–4 of TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (2012), http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/roadmap/images/m121203-e.pdf

[283] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Comments received on Section 5, official communication (2 March 2015).

[284] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Contaminated Water Treatment (2015), http://www.tepco.co.jp/en/decommision/planaction/alps/index-e.html

[285] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Fukushima Daiichi NPS Prompt Report 2014: Bypass of Clean Groundwater to Ocean Starts (2014), http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2014/1236566_5892.html

[286] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, "Measures to stop or reduce ingress of groundwater into reactor and turbine buildings", paper presented at IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4 (Second Mission), Tokyo and Fukushima Prefecture, 2013.

[287] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Fact Sheet: Overview of Contaminated Water Issue at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Agency for Natural Resources and Energy (2013), http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20130822_01.pdf

[٢٨٨] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، بعثة الوكالة الدولية لاستعراضات النظراء بشأن خارطة الطريق المتوسطة والطويلة الأجل نحو إخراج الوحدات ١-٤ من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية التابعة لشركة طوكيو للطاقة الكهربائية من الخدمة (البعثة الثانية) (٢٠١٤)، http://www.meti.go.jp/press/2013/02/20140213003/20140213003-2.pdf

[٢٨٩] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، بعثة الوكالة الدولية لاستعراضات النظراء بشأن خارطة الطريق المتوسطة والطويلة الأجل نحو إخراج الوحدات ١-٤ من محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية

التابعــة لشــركة طوكيــو للطاقــة الكهربائيــة مــن الخدمــة (٢٠١٥) (البعثــة الثالثــة) (٢٠١٥)،
https://www.iaea.org/sites/default/files/missionreport170215.pdf

[290] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Fuel Removal of the Unit 4 Spent Fuel Pool of the Fukushima Daiichi NPP Completed (2014) (in Japanese), http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_141222_04-j.pdf

[291] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Mid-and-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (2013), http://www.meti.go.jp/english/press/2013/pdf/0627_01.pdf

[292] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5, IAEA, Vienna (2006). (This publication is superseded by GSR Part 6 (2014)).

[293] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident, IAEA, Vienna (2013).

[294] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Nucl. Law Bull. 90 2 (2012).

[295] GOVERNMENT OF JAPAN, Flow chart of specified waste and contaminated soil management in other prefectures, official communication (2015).

[296] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Mid-and-Long-Term Plans for Solid Waste Storage of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (Draft) (2014) (in Japanese), http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/l140407_05-j.pdf

[297] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Installation of Facilities for Temporary Storage Dry Casks (2014) (in Japanese), http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/120625/120625_02cc.pdf

[298] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, A Mid-and-long-term plan for storage of solid wastes in Fukushima Daiichi NPS, official communication (2014).

[299] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, "Radioactive Waste Management — Toward the decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4", paper presented at IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (Second Mission), Tokyo and Fukushima Prefecture, 2013.

[300] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Progress Status of Mid-and-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (2012), http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/roadmap/images/m120730-e.pdf

[301] SECRETARIAT OF THE TEAM FOR COUNTERMEASURES FOR DECOMMISSIONING AND CONTAMINATED WATER TREATMENT, Summary of Decommissioning and Contaminated Water Management (2014(), http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20140529-e.pdf

[302] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Reports from ICRP Dialogue Initiatives (2014), http://www.icrp.org/page.asp?id=189

[303] JAPAN EXTERNAL TRADE ORGANIZATION, 2011 JETRO Global Trade and Investment Report: International Business as a Catalyst for Japan's Reconstruction, JETRO, Tokyo (2011).

[304] FISHERIES AGENCY, The Leakage of Contaminated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station and the Safety of Fishery Products (2015).

[305] FOOD STANDARDS AGENCY, Import of Feed and Food Originating in or Consigned from Japan (2012), http://www.food.gov.uk/business-industry/imports/banned_restricted/japan#.UKS7deQ0V8E

[306] JAPAN EXTERNAL TRADE ORGANIZATION, JETRO Global Trade and Investment Report — Overview (2014), http://www.jetro.go.jp/en/reports/white_paper/trade_invest_2014.pdf

[307] Act on Compensation for Nuclear Damage, 1961, Act. Nr. 147, as amended by Act Nr. 19 in 2009.

[308] MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY, DISPUTE RECONCILIATION COMMITTEE FOR NUCLEAR DAMAGE COMPENSATION, Interim Guidelines On Determination of the Scope of Nuclear Damage Resulting from the Accident at The Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi and Daini Nuclear Power Plants (2011) (in Japanese), http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/016/houkoku/__icsFiles/afieldfile/2011/08/17/1309452_1_2.pdf

[309] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Compensation for Additional Costs Resulting from Early Return after the Evacuation Order is Lifted (2014) (in Japanese), http://www.tepco.co.jp/cc/press/2014/1235026_5851.html

[310] PERKO, T., VALUCH, J., NAGY, A., LAMMERS, P., MAYS, C., Overview of Mass and New Media Treatment of Ionizing Radiation Topics: The Case of Fukushima, EAGLE Coordination Project (2013), http://eagle.sckcen.be/en/Deliverables

[311] FUKUSHIMA PREFECTURE, Steps for Revitalization in Fukushima, Fukushima Prefecture (2013.(

[312] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, FUKUSHIMA PREFECTURE, Decontamination Information Plaza (2013).

[313] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, "Stakeholder communication overview for decontamination", paper presented at Follow-up IAEA International Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-site of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Tokyo and Fukushima Prefecture, 2013.

[314] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Enhancing Transparency and Communication Effectiveness in the Event of a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA, Vienna (2012).

[315] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Director General Calls for High Level Conference to Strengthen Nuclear Safety (2011), https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-director-general-calls-high-level-conference-strengthen-nuclear-safety

[316] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Final Report of the International Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-site the Fukushima Dai-ichi NPP (2011), http://www.mofa.go.jp/mofaj/saigai/pdfs/iaea_mission_1110_en.pdf

[317] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Mission to Review NISA's Approach to the Comprehensive Assessments for the Safety of Existing Power Reactor Facilities Conducted in Japan (2012), https://www.iaea.org/sites/default/files/nisamissionreport2012.pdf

[318] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Mission to Onagawa Nuclear Power Station to Examine the Performance of Systems, Structures and Components Following the Great East Japanese Earthquake and Tsunami (2012).

[319] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (2013), http://www.iaea.org/sites/default/files/missionreport220513.pdf

[٣٢٠] إعلان مؤتمر الوكالة الوزاري بشأن الأمان النووي الذي اعتُمِد في فيينا في ٢٠ حزيران/يونيه ٢٠١١، الوثيقة INFCIRC/821، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، (٢٠١١).

[٣٢١] تدابير تعزيز التعاون الدولي في مجال الأمان النووي والأمان الإشعاعي وأمان النقل وأمان النفايات، القرار GC(57)/RES/9، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٣).

[٣٢٢] التقدم المحرز في تنفيذ خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي، الوثيقة GOV/INF/2012/11-GC(56)/INF/5، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٢).

[٣٢٣] التقدم المحرز في تنفيذ خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي، الوثيقة GOV/INF/2013/8-GC(57)/INF/5، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٣).

[٣٢٤] التقدم المحرز في تنفيذ خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي، الوثيقة GOV/INF/2014/15-GC(58)/INF/7، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٤).

[325] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Protection against Extreme Earthquakes and Tsunamis in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2012).

[326] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Radiation Protection After the Fukushima Daiichi Accident: Promoting Confidence and Understanding, IAEA, Vienna (2014).

[327] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2013).

[328] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Strengthening Nuclear Regulatory Effectiveness in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2013).

[329] Memorandum of Cooperation between Fukushima Prefecture and the International Atomic Energy Agency Following the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (2012),
http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/pdfs/fukushima_iaea_en_04.pdf

[330] Practical Arrangements between Fukushima Prefecture and the International Atomic Energy Agency on Cooperation in the Area of Radiation Monitoring and Remediation (2012 ,)
http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/pdfs/fukushima_iaea_en_05.pdf

[331] Practical Arrangements between Fukushima Medical University and the International Atomic Energy Agency on Cooperation in the Area of Human Health (2012),
http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/pdfs/fukushima_iaea_en_06.pdf

[332] Practical Arrangements between the Ministry of Foreign Affairs of Japan and the International Atomic Energy Agency on Cooperation in the Area of Emergency Preparedness and Response (2012),
http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/pdfs/fukushima_iaea_en_07.pdf

[333] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA and Japan Host Fukushima Ministerial Conference on Nuclear Safety (2012),
https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-and-japan-host-fukushima-ministerial-conference-nuclear-safety

[٣٣٤] اتفاقية الأمان النووي، الوثيقة INFCIRC/449، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (١٩٩٤).

[٣٣٥] الاتحاد الأوروبي للطاقة الذرية، ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومنظمة العمل الدولية، والمنظمة البحرية الدولية، ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ومنظمة الصحة للبلدان الأمريكية، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، ومنظمة الصحة العالمية، مبادئ الأمان الأساسية، العدد SF-1 من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، فيينا (٢٠٠٦).

[٣٣٦] اتفاقية الأمان النووي، النظام الداخلي واللائحة المالية، الوثيقة INFCIRC/573/Rev.6، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٥).

[٣٣٧] مبادئ توجيهية بشأن عملية الاستعراض التي يُضطلع بها بموجب اتفاقية الأمان النووي، الوثيقة INFCIRC/571/Rev.7، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٥).

[٣٣٨] مبادئ توجيهية بشأن التقارير الوطنية المقدمة بموجب اتفاقية الأمان النووي، الوثيقة INFCIRC/572/Rev.5، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٥).

[339] 2nd Extraordinary Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety: Final Summary Report, CNS/ExM/2012/04/Rev.2 (2012),
http://www.iaea.org/sites/default/files/cns-summaryreport310812.pdf

[340] 6th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety: Summary Report, CNS/6RM/2014/11_Final (2014 ,(
http://www-ns.iaea.org/downloads/ni/safety_convention/2014-cns-summary-report-w-annexes-signed.pdf

[٣٤١] التقرير الموجز وإعلان فيينا بشأن الأمان النووي، الوثيقة CNS/DC/2015/3/Rev.2) 2015)،
https://www.iaea.org/sites/default/files/cns_summary090215.pdf

قائمة المختصرات

معايير الأمان الأساسية	معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة ولأمان المصادر الإشعاعية
تمارين ConvEx	تمارين الطوارئ في إطار الاتفاقيتين
الفاو	منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة
مقياس إينيس	المقياس الدولي للأحداث النووية والإشعاعية
الخطة المشتركة	الخطة المشتركة للمنظمات الدولية من أجل التصدي للطوارئ الإشعاعية
وكالة الطاقة النووية	وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي
شبكة التصدّي والمساعدة	شبكة التصدي والمساعدة التابعة للوكالة
مبادئ الأمان الأساسية	مبادئ الأمان الأساسية الصادرة عن الوكالة
شركة تيبكو	شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليونيب	برنامج الأمم المتحدة للبيئة

المساهمون في الصياغة والاستعراض

أمانة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

إدارة المشروع

مدير المشروع
غ. كاروزو

المديرون المسؤولون عن المشروع التحليلي
ل. بيفينغتون (مسؤول الأمان الأول)
ب. بوريتا
ف. ماسيغ

منسق الرسوم والبيانات
م. زيمرمان

مصمم الرسوم
م. كاسبر

مساعد التنفيذ
س. غوتييريز فلوريس

مساعد الفريق
ل. فيتزباتريك

الكُتاب والمحررون التقنيون
م. بويميك
د. ديلفيس
س. هاربيسون
أ. مكدونالد
غ. ف. راميش
ك. روبنسون

الأمين العلمي لاجتماعات الرئيسين المشاركين
ب. وبستر

المراجعون الخارجيون

أ. ألونسو، إسبانيا
ر. غراي، المملكة المتحدة
إ. روبنسون، المملكة المتحدة
ج. سيموندز، المملكة المتحدة
ب. وبستر، كندا

الفريق العامل ١: وصف الحادث وسياقه

الرئيسان المشاركان

ر. جمال
هيئة الأمان النووي الكندية
كندا

ب. فينكزي
إدارة الطاقة النووية
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأمين العلمي

م. هايتش (حتى آب/أغسطس ٢٠١٤)
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأعضاء

ل. دوبرزينسكي
المركز الوطني للبحوث النووية
بولندا

ك. دولغانوف
معهد الأمان النووي التابع لأكاديمية العلوم الروسية
الاتحاد الروسي

ج. دوسبيفا
معهد ريز البحثي النووي ÚJV، شركة مساهمة
الجمهورية التشيكية

إ. غرانت
الهيئة الاتحادية للرقابة النووية
الإمارات العربية المتحدة

أ. غيربينار
استشاري أول
تركيا

م. هيرانو
هيئة الرقابة النووية
اليابان

ح. خواجه
هيئة الأمان النووي الكندية
كندا

هـ. ت. كيم
شركة كوريا للهيدرولوجيا والقوى النووية - المعهد المركزي للبحوث
جمهورية كوريا

هـ. كريجغر
شركة جنوب هولندا لإنتاج الكهرباء
هولندا

إ. ليكويريكا
شركة الكهرباء الإسبانية إنديسا
إسبانيا

م. نويل
مركز البحوث المشتركة التابع للمفوضية الأوروبية

و. أوردرز
الهيئة الرقابية النووية
الولايات المتحدة الأمريكية

غ. أورزوا
أريفا
فرنسا

ب. فولكهولز
أريفا
فرنسا

ك. فايدنبروك
الـوزارة الاتحاديـة للبيئـة وحمايـة الطبيعـة وأمـان المباني والأمان النووي
ألمانيا

س. فايس
البحـوث العالميـة مـن أجـل الأمـان (شـركة أمـان المنشآت والمفاعلات)
ألمانيا

م. غ. زهنغ
معهد شنغهاي لبحوث وتصميمات الهندسة النووية
الصين

الخبراء المدعوون

ت. دودو
المعهد الياباني للأمان النووي
اليابان

ت. إهارا
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

م. كانو
هيئة الرقابة النووية
اليابان

أ. كاوانو (حتى آب/أغسطس ٢٠١٣)
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

ك. موفتوغلو
شركة جنرال إليكتريك - هيتاشي للطاقة النووية
الولايات المتحدة الأمريكية

ج. تاييرا
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

م. ياماموتو (آب/أغسطس ٢٠١٣ فصاعداً)
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

موظفـو أمانـة الوكالـة الـذين قـدموا الـدعم إلـى الفريق العامل ١

ك.-س. كانغ
ن. كيليك
ب. باغانون
ك. يامادا
ي. يوشيموتو

الفريق العامل ٢: تقييم الأمان

الرئيسان المشاركان

س. شانده
المجلس الرقابي للطاقة الذرية
الهند

ب. هيوز (حتى آب/أغسطس ٢٠١٤)
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

أ. أولسيز (آب/أغسطس ٢٠١٤ فصاعداً)
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأمين العلمي

ف. أباركين
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأعضاء

ج. ر. ألونسو
مجلس الأمان النووي
إسبانيا

م. أيوب
الهيئة الرقابية النووية الباكستانية
باكستان

أ. بوكالوسي
مركز البحوث المشتركة التابع للمفوضية الأوروبية

ب. تشايكيات
الهيئة السويدية للأمان الإشعاعي
السويد

ف. درماركار
مجموعة مالكي مفاعل كندو
كندا

ل. فوشيه
الهيئة الفرنسية للأمان النووي
فرنسا

ر. غونت
مختبرات ساندیا الوطنية
الولايات المتحدة الأمريكية

إ. أ. غيانيللي
مؤسسة الكهرباء السلوفينية (تابعة لهيئة الكهرباء الوطنية)
إيطاليا

أ. ر. غودوي
شركة جيمس ج. جونسون وشركاه
الأرجنتين

ف. غونزاليز
اللجنة الوطنية للأمان النووي والضمانات
المكسيك

س. هاريسون
مكتب الرقابة النووية
المملكة المتحدة

ك. هيبل-ماسيس
هيئة الأمان النووي الكندية
كندا

هـ. هوشي
هيئة الرقابة النووية
اليابان

م. كاجيموتو
هيئة الرقابة النووية
اليابان

هـ. كويفالاينن
هيئة الأمان الإشعاعي والنووي
فنلندا

م. لانكين
الهيئة الاتحادية للإشراف البيئي والصناعي والنووي
الاتحاد الروسي

ب. دي ليبينوا
أريفا
فرنسا

ل. ماكي
شركة ديدال
فرنسا

أ. ملدنبرغر
شركة أمان المنشآت والمفاعلات
(Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit gGmbH)
ألمانيا

ج. ميساك
معهد ريز البحثي النووي ÚJV، شركة مساهمة
الجمهورية التشيكية

ل. بيريمان
إسكوم
جنوب أفريقيا
ك. رايزر
هيئة التفتيش الاتحادية السويسرية المعنية بالأمان النووي
سويسرا

ج. هـ. سونغ
المعهد الكوري لبحوث الطاقة الذرية
جمهورية كوريا

ك. فايدنبروك
الوزارة الاتحادية للبيئة وحماية الطبيعة وأمان المباني والأمان النووي
ألمانيا

الخبراء المدعوون وجهات الاتصال

أ. دونج
معهد بحوث عمليات القوى النووية
الولايات المتحدة الأمريكية

س. هيبر
مؤسسة تحليل الأداء البشري
الولايات المتحدة الأمريكية

ر. هارتر
مجموعة مالكي مفاعلات الماء المغلي
الولايات المتحدة الأمريكية

ي. هاتامورا
جامعة طوكيو
اليابان

ت. إهارا
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

ك. إينو
شركة سيدروز
اليابان

س. كونيتو
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

ي. ناكاغاوا
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

س. تاكيزاوا
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

غ. واتفورد
شركة جنرال إليكتريك – هيتاشي للطاقة النووية
الولايات المتحدة الأمريكية

ي. ياماناكا
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

موظفو أمانة الوكالة الذين قدموا الدعم إلى الفريق العامل ٢

ف. بلتران
ك. إيرل
م. هاج
س. هيبر
ب. روفيتي
هـ. ريكرافت
ب. سكاربو
ج. إليرا
ي. يوشيموتو

الفريق العامل ٣: التأهب والتصدي للطوارئ

الرئيسان المشاركان

د. درابوفا
المكتب الحكومي للأمان النووي
الجمهورية التشيكية

إ. بوغلوفا
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأمين العلمي

ك. شيراغا
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأعضاء

هـ. آلتونن
الهيئة الفنلندية للأمان الإشعاعي والنووي
فنلندا

ب. أهيير
مكتب الوقاية من الإشعاعات
كندا

ج. باريديلاي
معهد الوقاية الإشعاعية والأمان النووي
فرنسا

س. بلاكبرين
منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة

د. بايرون†
منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة

ب. شين (حتى حزيران/يونيه ٢٠١٤)
المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

ف. تشوغونوف
الشركة الحكومية للطاقة الذرية 'روزاتوم'
الاتحاد الروسي

أ. كورتيس كارمونا
اللجنة الوطنية للأمان النووي والضمانات
المكسيك

أ. ديلا روسا
معهد البحوث النووية الفلبيني
الفلبين

أ. هارو (حزيران/يونيه ٢٠١٤ فصاعداً)
المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

د. هرنانديز
الهيئة الرقابية النووية
الأرجنتين

ت. هوما
الوكالة اليابانية للطاقة الذرية
اليابان

ل. هوبارد
الهيئة السويدية للأمان الإشعاعي
السويد

ن. كيلي
استشاري أول
المملكة المتحدة

† متوفى

ج. كينيغزبرغ†
الهيئة الوطنية للوقاية من الإشعاعات
بيلاروس

م. ماري
شركة إسكوم
جنوب أفريقيا

ف. ماكليلاند
وزارة الطاقة
الولايات المتحدة الأمريكية

غ. مولينا
المعهد الوطني للبحوث النووية
المكسيك

غ. باسكال
معهد البحوث المشتركة التابع للمفوضية الأوروبية

ل. سيغوين
هيئة الأمان النووي الكندية
كندا

اعتماد الصوفي
المركز الوطني للطاقة والعلوم والتكنولوجيا النووية
المغرب

د. إ. سومارغو
الوكالة الرقابية للطاقة النووية
إندونيسيا

س. تاكاهارا
الوكالة اليابانية للطاقة الذرية
اليابان

ر. ديلافيغا
مجلس الأمان النووي
إسبانيا

الخبراء المدعوون وجهات الاتصال

ت. تاميناميي
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

ك. تانيغاوا
جامعة هيروشيما
اليابان

ت. توميناغا
المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية
اليابان

أ. وايلي
موقع التدريب التابع لمركز المساعدة في حالات الطوارئ - المركز المتعاون مع منظمة الصحة العالمية
الولايات المتحدة الأمريكية

س. ياماشيتا
جامعة ناغازاكي
اليابان

موظفو أمانة الوكالة الذين قدموا الدعم إلى الفريق العامل ٣

ج. كالن
ج. تشابو
ب. قيصر
ر. مارتينسيك
أ. موتلويه
س. نيستوروسكا مادجوناروفا
ب. فيلار ويلتر
ي. يوشيموتو

الفريق العامل ٤: العواقب الإشعاعية

الرئيسان المشاركان

أ. غونزاليز
الهيئة الرقابية النووية
الأرجنتين

ر. تشيم (حتى آب/أغسطس ٢٠١٤)
إدارة العلوم والتطبيقات النووية
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

أ. مكزيفن (أيلول/سبتمبر ٢٠١٤ فصاعداً)
إدارة العلوم والتطبيقات النووية
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

م. بيناك
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأمين العلمي

ب. ميسكينس (حتى آب/أغسطس ٢٠١٣)
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

ل. بيفنغتون (أيلول/سبتمبر ٢٠١٣ فصاعداً)
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأعضاء

م. أكاشي
المعهد الوطني للعلوم الإشعاعية
اليابان

أ. بيتانكورت
وكالة الطاقة النووية والتكنولوجيات المتقدمة
كوبا

د. بلومنتال
إدارة الأمن النووي الوطنية
وزارة الطاقة
الولايات المتحدة الأمريكية

إ. ج. بروميت
جامعة ولاية نيويورك في ستوني بروك
الولايات المتحدة الأمريكية

ج. براون
الهيئة النرويجية للوقاية من الإشعاعات
النرويج

ك. ن. كولمان
المعهد الوطني للسرطان
الولايات المتحدة الأمريكية

ي. ديميدتشيك
الأكاديمية الوطنية للعلوم والأكاديمية الطبية للدراسات العليا في بيلاروس
بيلاروس

ل. دوبرزينسكي
المركز الوطني للبحوث النووية
بولندا

إ. غاليغو
الجامعة التقنية في مدريد
إسبانيا

غ. هيكوين
مركز سوريق للبحوث النووية
إسرائيل

ك.غ. جونز
البعثة الدائمة للولايات المتحدة الأمريكية لدى الوكالة في فيينا، والهيئة الرقابية النووية
الولايات المتحدة الأمريكية

ج. ك. لي
جامعة هانيانغ
جمهورية كوريا

س. ماغنوسن
الهيئة الآيسلندية للأمان الإشعاعي
آيسلندا

ك. ميسون
شركة BHP Billiton
أستراليا

أ. ك. ماك إوان
استشاري أول
نيوزيلندا

ب. أ. ماك غينيتي
وكالة حماية البيئة
آيرلندا

ك. هـ. نغ
جامعة ماليزيا
ماليزيا

أ. نيوا
جامعة كيوتو وجامعة فوكوشيما الطبية
اليابان

ر. ج. بنتريث
جامعة ريدنغ
المملكة المتحدة

م. ل. بيرين
هيئة الأمان النووي
فرنسا

إ. روكيدو
تنسيق المنشآت النووية
البرازيل

س. شينكاريف
الوكالة الاتحادية الطبية والبيولوجية
الاتحاد الروسي

س. ساندل - بيرغمان
الجامعة السويدية للعلوم الزراعية
السويد

غ. توماس
إمبريال كوليدج في لندن
المملكة المتحدة

ج. فالنتين
شركة جاك فالنتين للوقاية الإشعاعية
السويد

الخبراء المدعوون وجهات الاتصال

أ. برينر
المعهد الوطني للسرطان
الولايات المتحدة الأمريكية

م. شينو
الوكالة اليابانية للطاقة الذرية
اليابان

ت. فوكويي
هيئة الرقابة النووية
اليابان

ف. إفانوف
السجل الوطني للإشعاعات والأوبئة
الاتحاد الروسي

أ. ماكيهيرا
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

س. ناغاتاكي
جامعة ناغازاكي
اليابان

أ. أوتسورو
جامعة فوكوشيما الطبية
اليابان

موظفو أمانة الوكالة الذين قدموا الدعم إلى الفريق العامل ٤

أ. ف. هارمس
ب. أ. ماكغينيتي
هـ. نييس
أ. أوسفاث
ك. ساكاي
هـ. يونيهارا

الفريق العامل ٥: التعافي بعد الحادث

الرئيسان المشاركان

غ. وليامز
الوكالة الأسترالية للوقاية من الإشعاعات والأمان النووي
أستراليا

إ. ميلي
إدارة الطاقة النووية
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

غ. بروهل
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأمين العلمي

ن. ديلوناي
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأعضاء

محمد سعيد المصري
هيئة الطاقة الذرية السورية
الجمهورية العربية السورية

م. بالونوف
معهد سانت بطرسبرغ للبحوث العلمية في مجال الصحة الإشعاعية
الاتحاد الروسي

أ. باسانيللي
شركة إدارة المحطات النووية
إيطاليا

ب. برينيك
استشاري أول
ألمانيا

إ. أ. داركو
هيئة الطاقة الذرية في غانا
غانا

ف. غالاي
هيئة الأمان النووي
فرنسا

ب. ج. هوارد
مركز الإيكولوجيا والهيدرولوجيا
المملكة المتحدة

ت. إنووي
المعهد المركزي لبحوث صناعة القوى الكهربائية
اليابان

ل. د. كيفانغا
هيئة الطاقة الذرية في تنزانيا
جمهورية تنزانيا المتحدة

س. ناكاياما
الوكالة اليابانية للطاقة الذرية
اليابان

د. هـ. أوتون
الجامعة النرويجية لعلوم الحياة
النرويج

د. روان
شركة الطاقة الذرية الكندية المحدودة
كندا

هـ. سيتز
مختبر سافانا ريفر الوطني
الولايات المتحدة الأمريكية

ف. توكاريفسكي
معهد تشرنوبيل
أوكرانيا

ن. زيليزنيك
المركز البيئي الإقليمي
سلوفينيا

الخبراء المدعوون وجهات الاتصال

هـ. بيلنكان
استشاري أول
الولايات المتحدة الأمريكية

ك. نيجين
مؤسسة تعزيز المشاريع
الولايات المتحدة الأمريكية

س. تاكيزاوا
شركة طوكيو للطاقة الكهربائية
اليابان

موظفو أمانة الوكالة الذين قدموا الدعم إلى الفريق العامل ٥

أ. إزومو
س. فيسنكو
ي. كومانو
هـ. مونكان-فيرناندیز
ك. ساكاي
ج. ووكر
ت. يانكوفيتش
هـ. يونيهارا

الفريق الاستشاري التقني الدولي

الرئيس

ر. ميزيرفي
الفريق الدولي للأمان النووي

الأمين العلمي

ل. بيفينغتون
إدارة الأمان والأمن النوويين
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الأعضاء

ف. غ. أسمولوف
هيئة إنتاج الطاقة الكهربائية والحرارية في محطات القوى النووية (هيئة روزإينيرغوأتوم)

ج. م. كاريير
المنظمة العالمية للأرصاد الجوية

ك. كليمنت
اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات

ك. كازينز
اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات

ب. دي بويك
الفريق الدولي للأمان النووي

ل.إ. إتشافاري (حتى نيسان/أبريل ٢٠١٤)
وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي

ك. إليس
الرابطة العالمية للمشغلين النوويين

ت. فوكيتا
الفريق الدولي للأمان النووي

ب. جاميت
الفريق الدولي للأمان النووي

م. كيم
الفريق الدولي للأمان النووي

ج. لاكسونين
الفريق الدولي للأمان النووي

ك. د. لي
الفريق الدولي للأمان النووي

ك. ليانغ
منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة

و. ماغوود (أيلول/سبتمبر ٢٠١٤ فصاعداً)
وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي

أ. محمد جايس
الفريق الدولي للأمان النووي

س. نيو
منظمة العمل الدولية

س. ك. شارما†
الفريق الدولي للأمان النووي

د. تورغيرسون
الفريق الدولي للأمان النووي

م. وايتمان
الفريق الدولي للأمان النووي

ب. ويروث
الفريق الدولي للأمان النووي

و. فايس
لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري

ب. زيكيانغ
اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات

الاجتماعات

اجتماعات الفريق العامل

١٨ آذار/مارس ٢٠١٣
اجتماع أولي للرئيسين المشاركين للفريق العامل، فيينا

٢١-٢٢ آذار/مارس ٢٠١٣
الاجتماع الأول لجميع الأفرقة العاملة، فيينا

١٢-١٤ حزيران/يونيه ٢٠١٣
الاجتماع الثاني لجميع الأفرقة العاملة، فيينا

١٢-١٣ أيلول/سبتمبر ٢٠١٣
الاجتماع الثالث للفريقين العاملين ١ و٢، فيينا

٧-٩ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣
الاجتماع الثالث للأفرقة العاملة ٣ و٤ و٥، فيينا

٩-١٣ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣
الاجتماع الرابع لجميع الأفرقة العاملة، فيينا

١٠-١٤ شباط/فبراير ٢٠١٤
الاجتماع الخامس لجميع الأفرقة العاملة، فيينا

١٤-١٧ نيسان/أبريل ٢٠١٤
الاجتماع السادس للأفرقة العاملة ١ و٢ و٣، فيينا

٥-٩ أيار/مايو ٢٠١٤
الاجتماع السادس للفريق العامل ٤، فيينا

٢٦-٣٠ أيار/مايو ٢٠١٤
الاجتماع السادس للفريق العامل ٥، فيينا

اجتماعات الفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية

٢١-٢٢ آذار/مارس ٢٠١٣
الاجتماع الأول للفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية، فيينا

١٠ حزيران/يونيه ٢٠١٣
الاجتماع المشترك الأول للفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية/رئيسيه المشتركين، فيينا

١١ حزيران/يونيه ٢٠١٣
الاجتماع الثاني للفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية، فيينا

٦ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣
الاجتماع المشترك الثاني للفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية/رئيسيه المشتركين، فيينا

٧ أيار/مايو ٢٠١٤
الاجتماع المشترك الثالث للفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية/رئيسيه المشتركين، فيينا

٢٣-٢٤ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٤
الاجتماع المشترك الرابع للفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية/رئيسيه المشتركين، فيينا

٢٣-٢٤ شباط/فبراير ٢٠١٥
الاجتماع المشترك الخامس للفريق الاستشاري الدولي المعني بالمسائل التقنية/رئيسيه المشتركين، فيينا

اجتماعات خدمات الاستشاريين

٦-٧ آب/أغسطس ٢٠١٣
خدمات الاستشاريين بشأن حد الإفلات، فيينا

٢٩-٣١ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣
خدمات الاستشاريين بشأن العوامل الانسانية والتنظيمية وثقافة الأمان، فيينا

١٧-٢١ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣
خدمات الاستشاريين بشأن العوامل الانسانية والتنظيمية وثقافة الأمان، أتلانتا

١٣-١٧ كانون الثاني/يناير ٢٠١٤
خدمات الاستشاريين بشأن العوامل الانسانية والتنظيمية وثقافة الأمان، فيينا

١٧-٢١ آذار/مارس ٢٠١٤
خدمات الاستشاريين بشأن العوامل الانسانية والتنظيمية وثقافة الأمان، أوتاوا

٢٤-٢٦ آذار/مارس ٢٠١٤
خدمات الاستشاريين بشأن النشاط الإشعاعي في البيئة، موناكو

٢٠-٢١ أيار/مايو ٢٠١٤
خدمات الاستشاريين بشأن الإشعاعات والتوزيعات الطبيعية اللوغاريتمية، فيينا

٢٣-٢٧ حزيران/يونيه ٢٠١٤
خدمات الاستشاريين بشأن الإشعاعات والتوزيعات الطبيعية اللوغاريتمية، فيينا

الاجتماعات الثنائية الأطراف في اليابان

١٤-٢١ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣
المناقشات الثنائية الأطراف بشأن المسائل المتعلقة بتقرير الوكالة في مجال الاستصلاح

٢٥-٢٧ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣
الخدمات الاستشارية لمناقشة المسائل المتعلقة بالعواقب الإشعاعية فيما يتصل بإعداد الفصل ٤ (العواقب الإشعاعية) والفصل ٥ (التعافي بعد الحادث)

٢٥ تشرين الثاني/نوفمبر – ٤ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣
المناقشات الثنائية الأطراف بشأن المسائل المتعلقة بتقرير الوكالة في مجال الإخراج من الخدمة

٢٠-٢٤ كانون الثاني/يناير ٢٠١٤
الخدمات الاستشارية لمناقشة المسائل المتعلقة بالأنشطة الرقابية، والخبرة التشغيلية والتصرف في النفايات والمواضيع ذات الصلة بإعداد تقرير الوكالة

٢٣ كانون الثاني/يناير ٢٠١٤
اجتماعات مع وكالة التعمير والفريق المعني بمساعدة ضحايا الكوارث – مكتب مجلس الوزراء

٢٤ كانون الثاني/يناير ٢٠١٤
اجتماعات مع معهد اقتصاديات الطاقة لليابان

ملاحظة بشأن حقوق النشر

جميع المنشورات العلمية والتقنية الصادرة عن الوكالة محمية بموجب الاتفاقية العالمية لحقوق التأليف والنشر بصيغتها المعتمدة في عام ١٩٥٢ (برن) والمنقحة في عام ١٩٧٢ (باريس). وقد عمدت المنظمة العالمية للملكية الفكرية (جنيف) لاحقاً إلى توسيع نطاق حقوق التأليف والنشر لتشمل الملكية الفكرية الإلكترونية والفرضية. ويجب الحصول على إذن باستخدام النصوص الواردة في منشورات الوكالة بشكلها المطبوع أو الإلكتروني، استخداما كلياً أو جزئياً؛ ويخضع هذا الإذن عادة لاتفاقات متعلقة برسوم الجعالة الأدبية. ويُرحَّب بأية اقتراحات تخص الاستنساخ والترجمة لأغراض غير تجارية، وسيُنظَر فيها على أساس كل حالة على حدة. وينبغي توجيه أية استفسارات إلى قسم النشر التابع للوكالة (IAEA Publishing Section) على العنوان التالي:

Marketing and Sales Unit, Publishing Section
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria
Fax: +43 1 2600 29302
Tel.: +43 1 2600 22417
Email: sales.publications@iaea.org
http://www.iaea.org/books

ملحوظة تحريرية

أُعِدَّ هذا التقرير المقدَّم من المدير العام بالاعتماد على المعلومات المفصلة التي قُدِّمت في المجلدات التقنية. ولا يعبِّر محتواه بالضرورة عن آراء الدول الأعضاء في الوكالة أو المنظمات المرشَّحة لخبراء في الفريق العامل من أجل إعداد المجلدات التقنية.

وتم توخي قدر كبير من الحرص للحفاظ على دقة المعلومات الواردة في هذا التقرير. ولا تتحمَّل الوكالة ولا دولها الأعضاء مع ذلك أي مسؤولية عن العواقب التي قد تنشأ عن استخدام تلك المعلومات، كما لا تُقدَّم أي ضمانات من أي نوع فيما يتعلق بالتقرير.

وليس الغرض من هذا التقرير تناول مسائل تتعلق بالمسؤولية، قانونية كانت أم غير قانونية، عن أفعال أو الامتناع عن أفعال من جانب أي شخص أو كيان.

ويجوز استخدام مقتطفات من التقرير بحريَّة في مواضع أخرى، شريطة الإقرار بمصدرها. وإذا كان في هذا التقرير أي إشارة تبيِّن بأنَّ المعلومات (بما في ذلك الصور الفوتوغرافية والرسوم البيانية) مستقاة من مصدر أو موقع خارج عن الوكالة، يجب طلب الإذن من المَصدر الأصلي بإعادة استخدامها.

واستخدام مسمَّيات معيَّنة للبلدان أو الأقاليم لا ينطوي على أي حكم من جانب الوكالة، فيما يخصّ الوضع القانوني لتلك البلدان أو الأقاليم، أو لترسيم حدودها، أو لسلطاتها ومؤسساتها.

وذكر أسماء شركاتٍ أو منتجاتٍ معيَّنة، سواء مع الإشارة إلى أنها مسجّلة أو دون تلك الإشارة، لا يعني ضمنًا وجود أي نية لانتهاك حقوق الملكية، كما لا ينبغي أن يُفسَّر على أنه تأييد أو توصية من جانب الوكالة.

ولا تتحمَّل الوكالة أي مسؤولية عن دقّة أو استمرار وجود الوصلات الإلكترونية للمواقع الشبكية URLs الخاصة بطرف خارجي أو طرف ثالث والمشار إليها في هذا التقرير ولا تضمن أن يكون، أو أن يظلَّ، أي محتوى يرد في تلك المواقع الشبكية دقيقًا أو ملائمًا.

IAEA
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

PO Box 100, Vienna International Centre
1400 Vienna, Austria

طُبع في النمسا

GC(59)/14