J. of Nuclear Sci. and Tech.
65, 2013, 34-45

مجله علوم و فنون هسته‌ای
۶۵، ۱۳۹۲، ۳۴-۴۵

شناسایی فازهای گذار از بحران هسته‌ای نیروگاه فوکوشیما- دایچی بر مبنای تحلیل زمانی حادثه

فریدون میانجی*[۱و۲]، محمدرضا کاردان[۱و۳]، ژیلا کریمی دیبا[۱]، اسد باباخانی[۱و۴]

۱. مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران ـ ایران
۲. پژوهشکده‌ی چرخه‌ی سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران ـ ایران
۳. پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران ـ ایران
٤. پژوهشکده‌ی فیزیک پلاسما و گداخت، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، صندوق پستی: ۵۱۱۱۳-۱۴۳۹۹، تهران ـ ایران

چکیده: حادثه‌ی نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما- دایچی در ژاپن، باور برخورداری از ایمنی کافی در نیروگاه‌های هسته‌ای موجود را به سختی به چالش کشید. تأسیسات پیشرفته و آمادگی‌های ایجاد شده در پاسخ‌گویی به بحران در نیروگاه مورد اشاره نتوانست مانع از گسترش سریع حادثه شود که پی‌آمد آن وقوع جدی‌ترین بحران نیروگاهی در تاریخ جهان، پس از حادثه‌ی چرنوبیل بود. این نوشتار با بررسی زمانی حادثه‌ی نیروگاه فوکوشیما- دایچی و اقدام‌های انجام شده برای مهار آن به شناسایی فازهای اصلی گذار از این بحران می‌پردازد. از میان پنج فاز اصلی شناسایی شده، سه فاز نخست عمدتاً به اقدام‌های واکنشی موضعی (نه فراگیر)، ارزیابی وضعیت و گردآوری اطلاعات به منظور برنامه‌ریزی برای انجام اقدام‌های فراگیر اختصاص داشته است. بررسی تأثیر هر فاز بر گسترش دامنه‌ی حادثه، بدون شک در آمادگی و برنامه‌ریزی مناسب برای مقابله با حوادث مشابه بسیار ارزشمند و حیاتی است. هم‌چنین، کاستی‌های موجود در تدبیرهای پیش‌گیرانه که منجر به بروز حادثه شد و ناکارآمدی ساختار ایمنی هسته‌ای ژاپن در ممانعت از گسترش سریع حادثه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این نوشتار با تحلیل عوامل ریشه‌ای، راه کارهایی را برای پیش‌گیری از حوادث مشابه و کوتاه نمودن فازهای اولیه‌ی گذار از بحران پیشنهاد می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: ***فازهای گذار، بحران هسته‌ای، نیروگاه فوکوشیما- دایچی، تحلیل زمانی، تدابیر پیش‌گیرانه، تحلیل عوامل ریشه‌ای***

Recognition of Transition Phases of Fukushima Dai-ichi Nuclear Crisis Through Chronological Analysis of the Accident

F. Mianji*[1,2], M.R. Kardan[1,3], J. Karimi Diba[1], A. Babakhani[1,4]

1. Iran Nuclear Regulatory Athority, AEOI, P.O.Box: 14155-1339, Tehran – Iran
2. Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran – Iran
3. Research School of Radiation Applications, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-3486, Tehran – Iran
4. Plasma Physics and Nuclear Fusion Research School, AEOI, P.O.Box: 14399-51113, Tehran – Iran

Abstract: Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident in Japan seriously questioned the worldwide presumed trust about the safety of existing nuclear power plants. Neither the advanced facilities nor the existing emergency response preparedness could hamper the rapid expansion of the accident, resulting in the world's most severe nuclear crisis after the Chernobyl accident. This paper presents a chronologic study of the accident and the responses to it in order to recognize the main phases of the crisis management in Fukushima. The study reveals that out of the total five recognized phases, the three first ones have mainly gone through by inevitable reactions, situation assessments, and data gathering for a comprehensive response planning. Investigating the influence of each phase on expansion of the accident is indeed of vital importance for effective planning for responding to similar accidents. Deficiency of preventive measures leading to the occurrence of the accident and incompetence of the Japanese nuclear safety infrastructure in hindering the rapid expansion of the crisis, are also discussed. Following a root cause analysis, the paper concludes with proposals for preventing similar accidents and shortening the duration of the first phases of the aftermaths.

Keywords: ***Transition Phases, Nuclear Crisis, Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Chronologic Study, Preventive Measures, Root Cause Analysis***

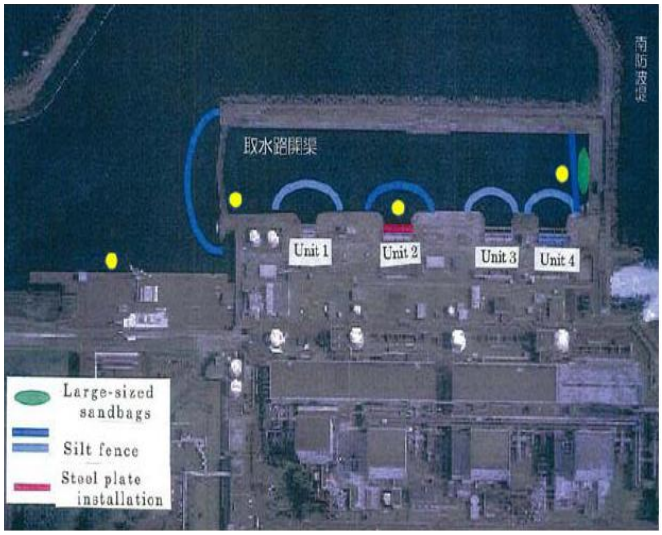
*email: fmianji@aeoi.org.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۵/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۲/۵/۲

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

وقوع زلزله به قدرت ۸٫۹ در مقیاس ریشتر در عمق ۱۰ کیلومتری اقیانوس آرام در شمال شرق ژاپن در ساعت ۱۴:۴۶ به وقت محلی در روز ۱۱ مارس ۲۰۱۱ و به ویژه سونامی ویرانگر متعاقب آن به بروز حادثه‌ی هسته‌ای بسیار جدی در این کشور انجامید. این حادثه بر خلاف حادثه‌ی چرنوبیل در شوروی سابق، در ۲۶ آوریل سال ۱۹۸۶، در نیروگاهی با طراحی غربی و به زعم سازندگان آن برخوردار از طراحی ایمن و فن‌آوری بسیار بالا (شکل ۱) روی داد. گستردگی ابعاد حادثه‌ی فوکوشیما در عین وجود مدیریت کارآمد و بهره‌بردار مجرب در نیروگاه‌های ژاپن تأکیدی است بر اهمیت انکارناپذیر رعایت استانداردهای ایمنی و توجه ویژه به انجام درست ارزیابی‌های ایمنی در طراحی، ساخت و مراحل گوناگون عمر نیروگاه‌های هسته‌ای و نیز لزوم تقویت زیرساخت‌های ایمنی هسته‌ای در سطح کشور. آن‌چه در این راستا شایان توجه است این است که بسیاری از تدابیر لحاظ شده در طراحی سیستم‌های کنترل و حفاظت نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما- دایچی به دلیل آسیب وارده به منابع تأمین نیروی الکتریکی، ابزارهای کنترل و سیستم‌های خنک‌کننده‌ی نیروگاه، از عملکرد مؤثر بازمانده و قادر به حفاظت از قلب رآکتورها پس از برون رفت از فاز بحرانی نشدند [۱]. بررسی چگونگی و دلایل بروز این حادثه، علاوه بر آشکارتر نمودن نقش کلیدی مدیریت کلان ایمنی در توسعه و بهره‌برداری از نیروگاه‌های هسته‌ای، بیان‌گر نکاتی مهم از نقطه نظر نیاز به بازنگری در طراحی و ضوابط ایمنی اعمال شده در نیروگاه‌های موجود یا در دست ساخت است. از دیگر سو، مطالعه و تحلیل توالی رخدادها و شرایط به وجود آمده بر اثر آن‌ها، اقدام‌های انجام شده برای مهار حادثه و روند پیشرفت در بازیابی کنترل بر واحدهای نیروگاه فوکوشیما، امکان شناسایی فازهای گذار از (یا مدیریت) بحران و ویژگی این فازها را به وجود می‌آورد. اهمیت این موضوع در حدی است که کشور فوق‌صنعتی ژاپن نیاز به گسترش پژوهش در زمینه‌ی ایمنی هسته‌ای را براساس درس‌های برگرفته از این حادثه به عنوان یک هدف اصلی اعلام می‌نماید [۱]. در این مقاله با بررسی وضعیت نیروگاه‌های آسیب‌دیده‌ی فوکوشیما- دایچی و اقدام‌های انجام شده برای کنترل یا کاهش خطرات موجود از زمان بروز رویداد (۱۱ مارس ۲۰۱۱) تا ۳ اوت ۲۰۱۱ که نیروگاه‌ها و نشت آلودگی به محیط تا حد زیادی تحت کنترل قرار گرفتند، کوشش شده است علاوه بر تحلیل مفهومی عناصر حیاتی لازم در پاسخ‌گویی کارآمد به بحران‌های هسته‌ای



شکل ۱. رآکتورهای ۱ تا ۴ نیروگاه فوکوشیما- دایچی [۲].

به ارایه‌ی پیشنهاداتی برای بهبود طراحی رآکتورهای اتمی و ارتقا مدیریت ایمنی هسته‌ای پرداخته شود. بدین منظور به تحلیل ریشه‌ای حادثه در سه مرحله پرداخته شده است. بخش دو این نوشتار به بررسی زمانی رویدادها با هدف تعیین نوع مشکلات و روند گسترش آن‌ها می‌پردازد. این بخش هم‌چنین با گروه‌بندی اقدام‌های انجام شده و رویدادها فازهای مدیریت بحران را شناسایی می‌کند. در بخش سه، کاستی‌هایی که منجر به بروز این مشکلات و گسترش آن‌ها شدند بررسی شده است. بخش چهار بر پایه‌ی تحلیل‌های داده شده در بخش‌های دو و سه به شناسایی عوامل ریشه‌ای در بروز حادثه و ناکارآمدی در پیش‌گیری از گسترش بحران پرداخته و برای پرهیز از آن‌ها پیشنهاداتی را ارایه داده است. نهایتاً بخش پنج به جمع‌بندی موضوع و ارایه‌ی خلاصه نتایج می‌پردازد.

۲. بررسی زمانی رویدادها و اقدام‌های انجام شده

حوادث هسته‌ای و پرتوی براساس مقیاس بین‌المللی رویدادهای هسته‌ای و پرتوی[۱] به ۷ سطح تقسیم می‌شوند. در این درجه‌بندی، سطح ۷ بیان‌گر سخت‌ترین نوع حادثه‌ی ممکن بوده و پیش از این رویداد تنها در حادثه‌ی چرنوبیل رخ داده است [۲]. نظام ایمنی هسته‌ای (و صنعتی) ژاپن[۲]، سطح حادثه‌ی نیروگاه هسته‌ای دایچی را در ابتدا برای مدتی کوتاه، ۴ و در ۱۲ آوریل ۲۰۱۱، یعنی بیش از یک ماه پس از بروز حادثه، ۷ مشروط اعلام نمود. هر دو سطح اعلام شده و به ویژه سطح ۷ نشان‌گر سخت بودن حادثه بوده و این امر لزوم بررسی شرایط به وجود آمده و اقدام‌های انجام شده برای مهار بحران را نمایان‌تر می‌سازد.

Archive of SID
www.SID.ir

گزارش‌های ارزشمند بسیاری تاکنون در بررسی جزییات و جنبه‌های فنی حادثه‌ی هسته‌ای در نیروگاه فوکوشیما- دایچی منتشر شده است، اما تلاش کارکنان نیروگاه و نیروهای پشتیبانی‌کننده در تغییر شرایط نیروگاه از حالت ناپایداری شدید به سمت پایداری دوباره، کم‌تر از دید ترتیب زمانی بلند مدت بررسی شده است [۳، ۴، ۵، ۶]. با بررسی ۵۰ گزارش اول منتشر شده از طرف مرکز نظام ایمنی هسته‌ای کشور که براساس گزارش‌ها و داده‌های تأیید شده تدوین شده‌اند، می‌توان به تعیین نقاط عطف در شرایط ۴ رآکتور آسیب‌دیده‌ی نیروگاه اتمی فوکوشیما- دایچی در یک بازه‌ی زمانی نسبتاً بلند مدت پرداخت [۷]. این تحلیل، کلید شناسایی مرحله‌های اصلی گذار از بحران موردنظر است. این مرحله‌ها از بروز حادثه و اشکال‌های بی‌شمار در تأسیسات مکانیکی، الکتریکی و کنترلی آغاز شده و سیر پیشرفت در بازسازی سیستم‌ها و بازیابی کنترل بر رآکتورها را نشان می‌دهند. در این میان، چالش‌های گوناگونی هم‌چون انفجارهای پی در پی در قلب رآکتورها، آلودگی در داخل حفاظ نیروگاه و نشت آن به محیط، آسیب جدی به تجهیزات حفاظتی و غیره، دشواری کار گروه‌های بهره‌بردار نیروگاه و مقابله با بحران را صد چندان نمود.

۱.۲ دوره‌ی اول: شوک

این دوره نزدیک به ۲ هفته‌ی نخست پس از بروز حادثه را شامل می‌شود. در این دوره توالی رویدادها و حوادث جدید به نحوی بوده که مانع از تمرکز کافی برای برنامه‌ریزی فراگیر برای مقابله با بحران در گروه‌های مدیریت بحران شد. مهم‌ترین دلیل‌های این امر، وقوع حوادث پیش‌بینی نشده‌ی پی در پی، امکان‌پذیر نبودن برآورد ابعاد واقعی بحران بر اثر بروز رویدادهای غیرقابل انتظار، از کار افتادن بسیاری از سیستم‌های پایش پرتوها و دیگر کمیت‌ها، آلوده شدن شدید مراکز کنترل واحدها به مواد پرتوزا و کمبود جدی تجهیزات و منابع انسانی بوده است. جدول ۱ مهم‌ترین رویدادهای رخ داده در این دوره و واکنش‌های غالباً ناگزیر کارکنان نیروگاه و گروه‌های مهار بحران برای رآکتورهای چهارگانه را بیان می‌دارد. اثر روانی بسیار مخرب نشت مقادیر قابل توجه مواد پرتوزا (عمدتاً ید-۱۳۱ و سزیم-۱۳۷) به محیط بر اثر انفجار در قلب رآکتور و آسیب‌های جدی وارد شده به تجهیزات و امکانات نیروگاه به شدت عملیات پاسخ به بحران در این دوره را تحت تأثیر قرار دادند [۸].

۲.۲ دوره‌ی دوم: کمبود

پس از فروکش کردن رخدادهای ویران‌گر مرحله‌ی پیشین، نقش کمبود تجهیزات کاری و حفاظتی مانند پرتوسنج‌های فردی و ماسک تنفسی، کارکنان ماهر برای مقابله‌ی هم‌زمان با حادثه‌ی هسته‌ای در ۴ رآکتور، ماشین‌آلات سنگین، اطلاعات حیاتی کافی از دامنه‌ی حادثه و نبود تجهیزات سنجش از راه دور به عنوان چالشی سخت در مهار حادثه نمایان‌تر شد [۷]. تخریب جدی راه‌های ارتباطی نیروگاه، وجود بحران سراسری در کشور که جنبه‌های غیرهسته‌ای آن بسیار ویران‌گرتر بود، کشته و ناپدید شدن بسیاری از مردم و وجود شمار زیادی مصدوم غیرپرتوی امکانات کشور را چنان به خود مشغول نموده بود که کمبودها در نیروگاه حادثه دیده تنها می‌توانست بخش کوچکی از این امکانات را به خود جذب نماید. در این دوره مهار بحران به شدت تحت تأثیر عامل مهمی به نام کمبود قرار داشت (جدول ۲).

جدول ۱. دوره‌ی اول: روند رویدادها و مراحل اصلی مقابله‌ی متأثر از رخدادهای غیرمنتظره و اقدام‌های ناگزیر با حادثه‌ی هسته‌ای در نیروگاه اتمی دایچی

بازه‌ی زمانی	اشکال‌های پایه	اقدام‌های انجام شده و شرایط کلی			
		رآکتور ۱	رآکتور ۲	رآکتور ۳	رآکتور ۴
۱۱ تا ۲۵ مارس ۲۰۱۱	۱. برق اصلی و اضطراری؛ ۲. سیستم خنک‌کننده‌ی رآکتورها و محفظه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۳. ابزار دقیق؛ ۴. آسیب به برخی ساختمان‌ها؛ ۵. آلودگی و آهنگ دز بالا در بخش‌های کنترلی که مانع از حضور آزادانه متصدیان شد.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. انفجار و آسیب به پوشش بیرونی رآکتور در ۱۲ مارس؛ ۴. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۵. مشاهده‌ی متناوب دود سفید.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. انفجار در ۱۴ مارس با آسیب جزیی به ساختمان رآکتور و مشاهده‌ی متناوب دود سفید؛ ۴. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. انفجار در ۱۴ مارس و آسیب به پوشش بیرونی رآکتور؛ ۴. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور، مشاهده‌ی متناوب دود سفید؛ ۵. تزریق آب بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده (شکل ۲).	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. انفجار و آتش‌سوزی در محل نگه‌داری سوخت مصرف شده در ۱۵ مارس که فوراً مهار شد. ۴. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۵. پاشش آب بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۶. مشاهده‌ی دود سفید در ۲۵ مارس.

www.SID.ir

جدول ۲. دوره‌ی دوم: کیفیت پاسخ متأثر از کمبود امکانات، کارکنان و اطلاعات به حادثه‌ی هسته‌ای در نیروگاه اتمی دایچی

بازه‌ی زمانی	اشکال‌های پایه	اقدام‌های انجام شده و شرایط کلی			
		رآکتور ۱	رآکتور ۲	رآکتور ۳	رآکتور ۴
۲۵ مارس تا ۵ آوریل	۱. برق اصلی و اضطراری؛ ۲. سیستم خنک‌کننده‌ی رآکتورها و محفظه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۳. ابزار دقیق؛ ۴. آسیب به برخی ساختمان‌ها؛ ۵. آلودگی و آهنگ دز بالا در بخش‌های کنترلی که مانع از حضور آزادانه متصدیان شد.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مشاهده‌ی متناوب دود سفید؛ ۵. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۶. آواربرداری از محوطه‌ی نیروگاه با ماشین‌های کنترل از راه دور.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۵. مشاهده‌ی دود سفید.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مشاهده‌ی متناوب دود سفید؛ ۵. تزریق آب بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده (شکل ۲)؛ ۶. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود).	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. پاشش آب بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده.

۳.۲ دوره‌ی سوم: ارزیابی

همان‌گونه که در جدول ۳ نمایش داده شده است با تأمین تدریجی تجهیزات و امکانات لازم، گروه‌های پاسخ به حادثه، عملیاتی را برای شناسایی دقیق‌تر ابعاد حادثه و برآورد میزان آسیب به رآکتورها و استخر نگه‌داری سوخت مصرف شده آغاز نمودند. در این دوره که بیش از یک ماه به طول انجامید اقدام‌های لازم در راستای مهار بحران هم‌چنان در جریان بود اما با توجه به کمبود اطلاعات و تجهیزات هنوز امکان انجام اقدام‌های فراگیر وجود نداشت و بیش‌تر اقدام‌ها به نوعی در راستای پیش‌گیری از گسترش حادثه و بدتر شدن شرایط موجود بوده است [۷]. آواربرداری از محوطه‌ی نیروگاه، تهیه‌ی عکس و فیلم به وسیله‌ی روبات و هلیکوپترهای کنترل از راه دور و نیز ارزیابی میزان خسارات و آلودگی در بخش‌های مختلف از جمله‌ی فعالیت‌های انجام گرفته‌ی بسیار مهم در این فاز بوده است. در شرایط آرمانی، چنین مرحله‌ای باید تقریباً بلافاصله پس از بروز حادثه آغاز می‌شد و در زمان بسیار کوتاهی اطلاعات کاملی از شرایط نیروگاه به دست می‌آمد.

٤.۲ دوره‌ی چهارم: اقدام‌های فراگیر

با گذشت دو ماه از حادثه و در سایه‌ی اقدام‌های بی‌شمار پیشین در پیش‌گیری از گسترش ابعاد حادثه و جمع‌آوری اطلاعات حیاتی از بخش‌های آسیب دیده و به شدت آلوده به مواد پرتوزا، در این مرحله زمینه‌ی انجام اقدام‌های بسیار مؤثر، از جمله نصب پوشش بر روی رآکتورهای آسیب دیده فراهم شد. جدول ۴ به خوبی ماهیت این دوره را آشکار می‌نماید. عملیات رفع آلودگی از سطوح آلوده به مواد پرتوزا و بازرسی دقیق و از نزدیک بخش‌های به شدت آسیب دیده از دیگر اقدام‌های این مرحله بوده است [۷].

۵.۲ دوره‌ی پنجم: مهار بحران

در نهایت، با گذشت سه ماه و نیم از شروع بحران، عملیات وارد مرحله‌ای شد که می‌توان آن را مرحله‌ی مهار بحران نامید. هر چند در این دوره در سیستم‌های تأمین برق یا کنترل مشکلات هم‌چنان وجود داشتند (جدول ۵) اما کمینه‌ی نیازمندی‌ها و مدیریت یکپارچه برای حرکت به سمت کنترل کامل بحران در این مرحله تأمین شد [۷]. آن‌چه که پس از این مرحله صورت گرفت اقدام‌های پیوسته و گوناگونی بوده است که دیگر در زیر فشار شرایط بحرانی نبوده و بیش‌تر جنبه‌ی اصلاحی، جبرانی یا ارتقابخشی داشته است.

٦.۲ بررسی اثر وزنی هر فاز بر گسترش بحران

شکل ۲ نمودار فازهای گذار از بحران هسته‌ای در نیروگاه فوکوشیما- دایچی را به نمایش می‌گذارد. حیاتی‌ترین مرحله در مهار و گذار موفقیت‌آمیز از یک بحران، مرحله‌ی اول است. هر چه این مرحله، که آن را مرحله‌ی شوک نامیده‌ایم، کوتاه‌تر باشد احتمال گسترش حادثه کم‌تر خواهد بود. متأسفانه این مرحله در فوکوشیما- دایچی نزدیک به ۲ هفته به طول انجامید که ناشی از عمق و گستردگی آسیب‌های وارده به زیرساخت‌های حیاتی نیروگاه مانند سیستم تأمین برق، برق اضطراری، ابزارهای اندازه‌گیری متغیرهای فیزیکی، حفاظ‌های فیزیکی، سیستم‌های کنترل، سیستم‌های خنک‌سازی قلب رآکتور، استخر نگه‌داری سوخت مصرف شده، و ... بوده است. در این مرحله پیش از آن‌که گروه‌های بهره‌بردار و پشتیبان اقدام چاره‌سازی برای هر یک از وقایع مانند انفجار در یک رآکتور به عمل آورند با واقعه‌ی دیگری مانند آتش‌سوزی در استخر نگه‌داری سوخت یا انفجاری دیگر روبه‌رو می‌شدند. پخش آلودگی‌ها، از کار افتادن ابزارهای سنجش‌گر و ... از دیگر رویدادهای غافل‌گیرکننده و به شدت تأثیرگذار در این دوره بوده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. دوره‌ی سوم: تلاش برای ارزیابی دقیق‌تر دامنه‌ی حادثه‌ی هسته‌ای در نیروگاه اتمی دایچی

بازه‌ی زمانی	اشکال‌های اصلی	اقدام‌های انجام شده و شرایط کلی			
		رآکتور ۱	رآکتور ۲	رآکتور ۳	رآکتور ۴
۶ آوریل تا ۱۳ مه	۱. برق اصلی و اضطراری؛ ۲. سیستم خنک‌کننده‌ی رآکتورها و محفظه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۳. ابزار دقیق؛ ۴. آسیب به برخی ساختمان‌ها؛ ۵. آلودگی و آهنگ دز بالا در بخش‌های کنترلی که مانع از حضور آزادانه‌ی متصدیان شد.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مشاهده‌ی متناوب دود سفید؛ ۵. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۶. آوار‌برداری از محوطه‌ی نیروگاه با ماشین‌های کنترل از راه دور؛ ۷. تزریق نیتروژن به محفظه‌ی پوشش رآکتور؛ ۸. تهیه‌ی عکس و فیلم به وسیله‌ی هلیکوپتر، کنترل از راه دور؛ ۹. بازرسی از ساختمان رآکتور به وسیله‌ی آدم ماشینی؛ ۱۰. برخی مواقع دود سفید مشاهده می‌شده است.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۵. مشاهده‌ی دود سفید؛ ۶. تزریق آب به حوضچه‌ی سوخت مصرف شده همراه با هیدرازین؛ ۷. آوار‌برداری از محوطه‌ی نیروگاه با ماشین‌های کنترل از راه دور؛ ۸. تهیه‌ی عکس و فیلم به وسیله‌ی هلیکوپتر کنترل از راه دور.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. تزریق هیدرازین بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده (شکل ۲)؛ ۵. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۶. مشاهده‌ی دود سفید؛ ۷. آوار‌برداری از محوطه‌ی نیروگاه با ماشین‌های کنترل از راه دور؛ ۸. تهیه‌ی عکس و فیلم به وسیله‌ی هلیکوپتر کنترل از راه دور؛ ۹. بازرسی از ساختمان رآکتور به وسیله‌ی آدم ماشینی.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. پاشش هیدرازین بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۴. شروع آوار‌برداری از محوطه‌ی نیروگاه با ماشین‌های کنترل از راه دور؛ ۵. تهیه‌ی عکس و فیلم به وسیله‌ی هلیکوپتر کنترل از راه دور.

جدول ٤. دوره‌ی چهارم: امکان اقدام‌های فراگیر برای مهار حادثه‌ی هسته‌ای نیروگاه اتمی دایچی از طریق جمع‌آوری اطلاعات کافی و تأمین امکانات و نیروی لازم

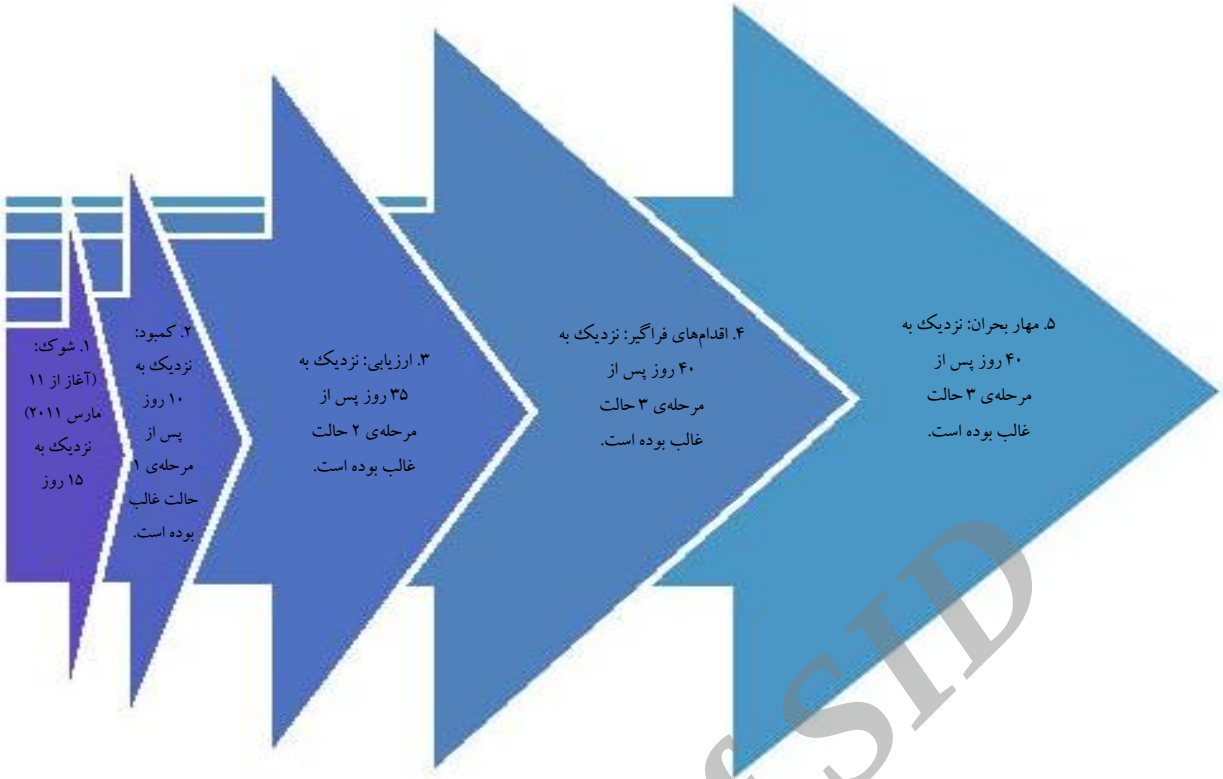
بازه‌ی زمانی	اشکال‌های اصلی	اقدام‌های انجام شده و شرایط کلی			
		رآکتور ۱	رآکتور ۲	رآکتور ۳	رآکتور ۴
۱۳ مه تا ۲۴ ژوئن	۱. برق اصلی و اضطراری؛ ۲. سیستم خنک‌کننده‌ی رآکتورها و محفظه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۳. ابزار دقیق؛ ۴. آسیب به برخی ساختمان‌ها؛ ۵. آلودگی و آهنگ دز بالا در بخش‌های کنترلی که مانع از حضور آزادانه‌ی متصدیان شد.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مشاهده‌ی متناوب دود سفید؛ ۵. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۶. آوار‌برداری از محوطه‌ی نیروگاه با ماشین‌های کنترل از راه دور؛ ۷. تزریق نیتروژن به محفظه‌ی پوشش رآکتور؛ ۸. نصب پوشش برای ساختمان رآکتور برای جلوگیری از پخش مواد پرتوزا.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۵. ادامه‌ی تزریق آب همراه با هیدرازین به حوضچه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۶. بررسی مقدماتی داخل رآکتور به صورت پیاده.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مشاهده‌ی متناوب دود سفید؛ ۵. تزریق هیدرازین بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده (شکل ۲)؛ ۶. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۷. بازرسی داخل رآکتور به صورت پیاده.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. پاشش هیدرازین بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۴. شروع آوار‌برداری از محوطه‌ی نیروگاه با ماشین‌های کنترل از راه دور.

جدول ۵. دوره‌ی پنجم: اعمال اقدام‌های فراگیر و کنترل کارآمد حادثه‌ی هسته‌ای نیروگاه اتمی دایچی

بازه‌ی زمانی	اشکال‌های اصلی	اقدام‌های انجام شده و شرایط کلی			
		رآکتور ۱	رآکتور ۲	رآکتور ۳	رآکتور ۴
۲۴ ژوئن تا ۳ اوت	۱. برق اصلی و اضطراری؛ ۲. سیستم خنک‌کننده‌ی رآکتورها و محفظه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۳. ابزار دقیق؛ ۴. آسیب به برخی ساختمان‌ها؛ ۵. آلودگی و آهنگ دز بالا در بخش‌های کنترلی که مانع از حضور آزادانه‌ی متصدیان شد.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مشاهده‌ی متناوب دود سفید؛ ۵. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۶. آوار‌برداری از محوطه‌ی نیروگاه با ماشین‌های کنترل از راه دور؛ ۷. تزریق نیتروژن به محفظه‌ی پوشش رآکتور؛ ۸. نصب پوشش برای ساختمان رآکتور برای جلوگیری از پخش مواد پرتوزا؛ ۹. راه‌اندازی خنک‌کننده‌ی تزریق گردشی رآکتور.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۵. ادامه‌ی تزریق آب همراه با هیدرازین به حوضچه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۶. بررسی مقدماتی داخل رآکتور به صورت پیاده؛ ۷. راه‌اندازی خنک‌کننده‌ی تزریق گردشی رآکتور.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. تزریق آب دریا و بور به داخل محفظه‌ی رآکتور؛ ۴. مشاهده‌ی متناوب دود سفید؛ ۵. تزریق هیدرازین بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده (شکل ۲)؛ ۶. مدیریت آب‌های آلوده در نیروگاه از ۲۸ مارس (تنظیم تزریق آب و تخلیه‌ی آب‌های موجود)؛ ۷. بازرسی داخل رآکتور به صورت پیاده؛ ۸. راه‌اندازی خنک‌کننده‌ی تزریق گردشی رآکتور.	۱. تأمین برق با مولد قابل حمل؛ ۲. بازسازی سیستم برق و ابزار دقیق؛ ۳. پاشش هیدرازین بر روی محفظه‌ی سوخت مصرف شده؛ ۴. شروع آوار‌برداری از محوطه‌ی نیروگاه با ماشین‌های کنترل از راه دور؛ ۵. تزریق آب به چاه رآکتور برای کاهش آهنگ دز.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. فازهای اصلی عبور از بحران در حادثه‌ی نیروگاه اتمی فوکوشیما- دایچی.

با گذار از مرحله‌ی اول و فروکش کردن رویدادهای غیرمنتظره، که ناشی از دو عامل رها شدن نیروهای محبوس شده در قلب رآکتورهای ۱ تا ۳ و استخر نگه‌داری سوخت مصرف شده و نیز اقدام‌های محدود انجام شده به وسیله‌ی کارکنان و نیروهای پشتیبان بوده است، جنبه‌ی دیگری از بحران کمبود امکانات، تجهیزات و نفرات ماهر خودنمایی می‌نماید. این مرحله پس از مرحله‌ی اول مهم‌ترین نقش را در مهار دیرهنگام حادثه بر عهده داشته است زیرا مانع از گردآوری اطلاعات کامل از عمق و میزان آسیب وارده به بخش‌ها و تجهیزات حیاتی نیروگاه شد. به علاوه، کمبودها منجر به تأخیر جدی در تعمیر یا تعویض تجهیزات آسیب دیده و در جلوگیری از پخش بیش‌تر مواد پرتوزا به محیط شد.

مرحله‌ی دیگری که تأخیر در اجرای آن از اهمیت بالایی در مهار دیرهنگام حادثه برخوردار بود مرحله‌ی سوم است. این مرحله نقشی اساسی در آمادگی برای انجام اقدام‌های فراگیر و نهایتاً مهار بحران را ایفا نمود، اما مدت زمان زیاد صرف شده برای آن عاملی در تأخیر مهار کامل بحران بود. وجود ۳ رآکتور آسیب دیده و آوارهای آلوده به مواد پرتوزا، استخری مملو از مواد پرتوزا در حجم و پرتوزایی بسیار زیاد، دشواری در برقراری دوباره و مطمئن جریان برق، دشواری در راه‌اندازی ابزار دقیق و کنترل‌کننده‌های آسیب دیده و بسیاری موارد دیگر از عواملی بودند که منجر به طولانی شدن این مرحله شدند.

مراحل ۴ و ۵ از نقش تمام‌کنندگی در کنترل کامل بحران برخوردارند، اما از اهمیت کم‌تری در گسترش بحران نسبت به مراحل ۱ تا ۳ داشته‌اند.

۳. کاستی‌هایی که بروز حادثه را ممکن ساخت

مؤثرترین روش پذیرفته شده در پیش‌گیری از بروز حوادث هسته‌ای، برقراری تدابیر پیش‌گیرانه‌ی[۳] کافی در طراحی، ساخت و مدیریت یک نیروگاه هسته‌ای است. وقوع حادثه در نیروگاه فوکوشیما- دایچی در سطح و شدتی چنین گسترده نشان‌گر وجود کاستی‌های جدی در تدابیر پیش‌گیرانه‌ی موجود در آن بوده است که منجر به گسترش شدید حادثه در طول ۲ هفته‌ی اول شد [۳]. مهم‌ترین این کاستی‌ها چکیده‌وار در ادامه این بخش توضیح داده شده‌اند.

Archive of SID
www.SID.ir

۱.۳ ضعف دفاع دقیق و کامل[٤]

بروز اشکال جدی در سیستم‌های تأمین برق نیروگاه، تنها ناشی از آسیب وارده به منبع خارجی تأمین برق نیروگاه بر اثر زلزله نبوده است. آسیب‌پذیری تأسیسات الکتریکی مانند تابلوهای برق در برابر رویدادهای بیرونی مانند سیلاب و فقدان تنوع در منابع تأمین برق نیز در این میان از نقشی کلیدی برخوردار بوده‌اند. عمر کوتاه باطری‌های تأمین برق اضطراری و نامشخص بودن یک زمان هدف برای راه‌اندازی دوباره‌ی منبع برق خارجی از دیگر عوامل مهم در بروز و دامنه‌دار شدن این حادثه شناخته شده‌اند. در شکل ۳ چگونگی نفوذ سیلاب‌ها از فراز دیوارهای محافظ بلند نیروگاه فوکوشیما- دایچی به درون تأسیسات و در شکل ۴ گستردگی و دامنه‌ی آسیب‌های وارده به تأسیسات برق درون نیروگاه و نیز به خطوط انتقال برق بیرون از نیروگاه نمایش داده شده است.

تقویت سیستم جامع زلزله نگاری، مقاوم‌سازی منابع تأمین برق خارجی نیروگاه‌های هسته‌ای در برابر حوادث طبیعی، لحاظ نمودن دقیق‌تر احتمال بروز سونامی در شدت و بلندی‌های گوناگون در طراحی نیروگاه‌های هسته‌ای، متنوع‌سازی منابع تأمین برق با روش‌هایی چون نصب ژنراتورهای دیزلی خنک‌شونده با هوا یا توربین‌های گازی، افزایش عمر باطری‌ها، مقاوم‌سازی سیستم‌های الکتریکی در برابر حوادث محیطی و غیره از مواردی هستند که باید به طور جدی در راستای تقویت دفاع دقیق و کامل به آن‌ها پرداخته شود.

۲.۳ عدم اطمینان از خنک‌سازی مداوم رآکتور و محفظه‌ی تحت فشار[٥]

با آسیب دیدن گرماخور نهایی رآکتورها بر اثر خراب شدن پمپ‌های مکش از آب دریا و با وجود فعال شدن سیستم خنک‌کننده‌ی رآکتور با استفاده از آب تزریقی، صدمه به قلب رآکتور در اثر تخلیه‌ی منبع آب تزریقی و قطعی منبع تغذیه و غیره اجتناب‌ناپذیر شد. علاوه بر این، سیستم خنک‌کننده‌ی محفظه‌ی تحت فشار نیز به درستی عمل ننمود. دشواری‌هایی مانند افزایش فشار در رآکتورها و پس از آن کاهش میزان آب قابل تزریق برای خنک‌سازی که ناشی از پیش‌بینی نشدن استقرار ماشین‌های سنگین آتش نشانی در برنامه‌ی مقابله با سوانح بوده است در نیروگاه ادامه یافت. تمام این موارد در نهایت منجر به بدتر شدن وضعیت بر اثر خنک‌سازی نامناسب رآکتورها و محفظه‌های تحت فشار شد. طرح‌واره‌ی رآکتورهای نیروگاه فوکوشیما- دایچی و جای‌گاه دستگاه‌های مهم خنک‌کننده مانند پمپ اصلی مکش آب از دریا و مخزن آب مربوطه در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

دوام پذیرتر نمودن سیستم خنک‌کننده‌ی نهایی یکی از الزامات پیش‌گیری از موارد مشابه است. به علاوه، تنوع روش‌ها و منابع تزریق آب به رآکتور و بهره‌گیری از سیستم‌های خنک‌کننده با هوا نیز می‌توانند به عنوان راه‌کارهای جای‌گزین موردنظر باشند.

۳.۳ عدم اطمینان از خنک‌سازی مداوم محفظه‌ی نگه‌داری سوخت مصرف شده

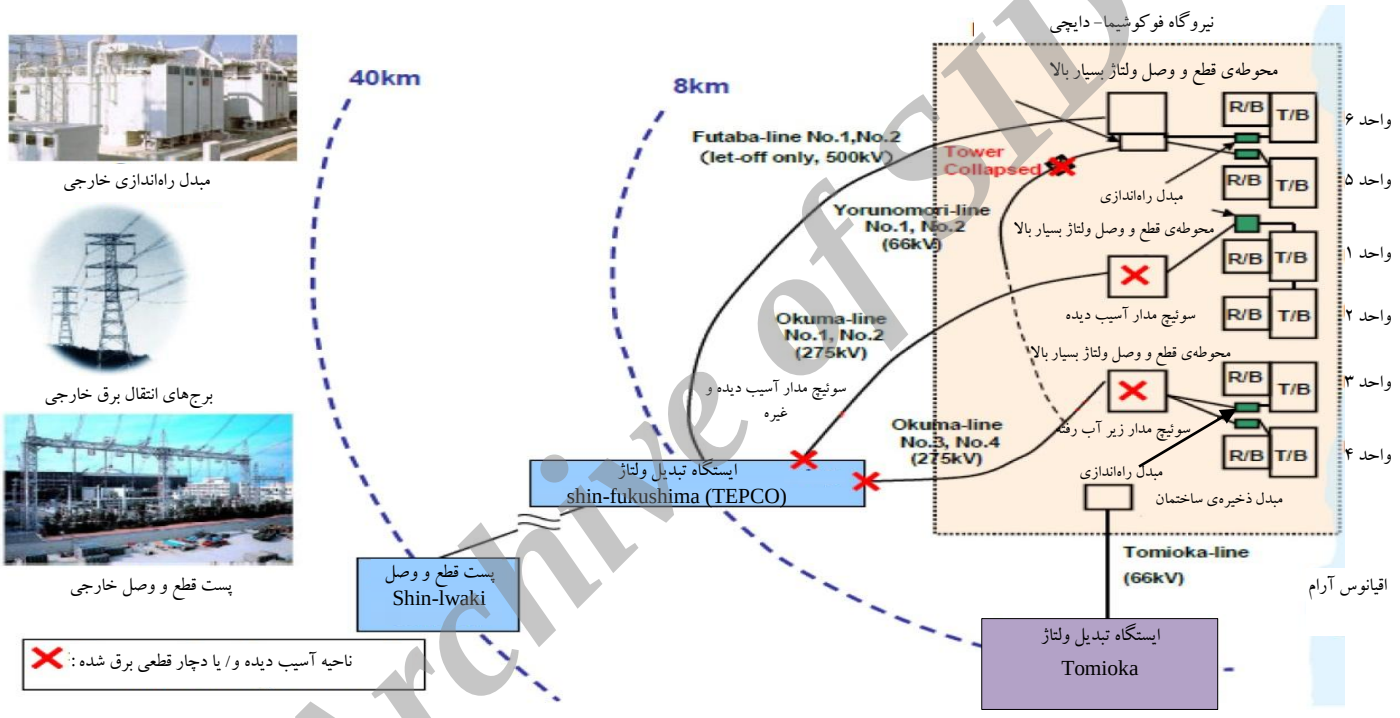
خطر بروز یک حادثه‌ی جدی در استخر نگه‌داری سوخت مصرف شده در مقایسه با رآکتورها تاکنون کوچک انگاشته شده است. از همین‌رو روش‌های جای‌گزین برای تزریق آب به استخر به طور جدی موردنظر نبوده‌اند. از دست رفتن منبع تأمین برق در این حادثه منجر به از کار افتادن خنک‌کننده‌ی استخرها شده و دشواری دیگری به دشواری‌های موجود در عملیات مقابله با حادثه افزود. با توجه به پی‌آمدهای حادثه‌ی هسته‌ای فوکوشیما، استفاده از خنک‌کننده‌های مبتنی بر چرخش طبیعی[٦] یا خنک‌کننده‌های مبتنی بر هوا و نیز روش‌های تزریق آب جای‌گزین، که قادر به عملکرد حتی در صورت فقدان منبع تأمین برق باشند، می‌توانند گزینه‌های مناسبی برای تقویت سیستم خنک‌سازی محفظه‌ی سوخت مصرف شده باشند.

٤.۳ ناکافی بودن ملاحظات طراحی و نحوه‌ی قرار گرفتن مؤلفه‌ها در نیروگاه

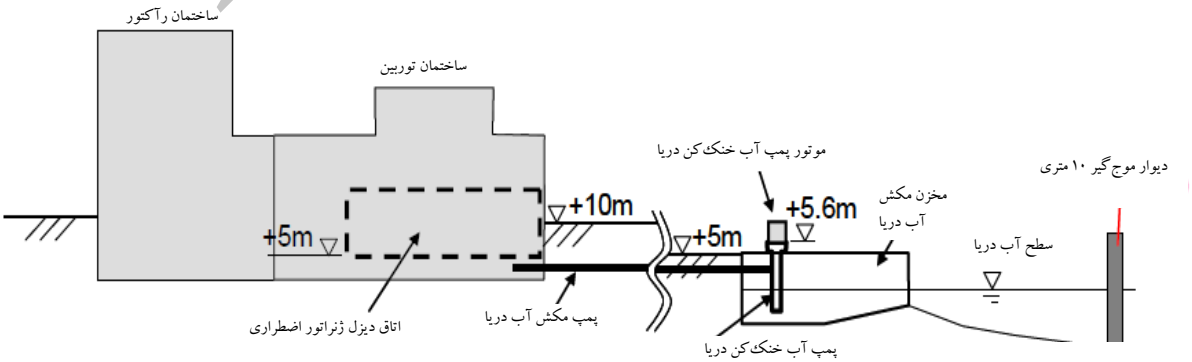
قرار گرفتن استخرهای سوخت مصرف شده در سطحی بالاتر از رآکتورها و نیز راه‌یابی آب آلوده شده از ساختمان رآکتور به ساختمان توربین، عملیات مقابله با حادثه را دشوارتر نمود. این نشان‌گر ناکافی بودن ملاحظات طراحی در پیش‌گیری از گسترش آلودگی از رآکتور به سایر قسمت‌های نیروگاه است. با توجه به این تجارب، در طراحی نیروگاه‌های جدید نحوه‌ی قرار گرفتن مؤلفه‌ها و ساختمان‌ها باید مورد بازنگری قرار گیرند تا از مداوم بودن خنک‌سازی و پیش‌گیری از گسترش دامنه‌ی حوادث در سطح نیروگاه اطمینان حاصل شود.

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۳. عبور امواج دریا از دیوارهای ۱۰ متری محافظ نیروگاه که منجر به وارد شدن آسیب به تأسیسات مهم نیروگاه فوکوشیما- دایچی شد [۲].



شکل ٤. وارد شدن آسیب جدی به خطوط انتقال برق به نیروگاه فوکوشیما- دایچی و تأسیسات برقی آن [۳].



شکل ۵. طرح‌واره‌ی رآکتور شمار ۱ نیروگاه فوکوشیما- دایچی؛ پمپ مکش آب دریا و برخی بخش‌های مهم دیگر آسیب دیده [۳].

Archive of SID
www.SID.ir

۵.۳ مقاوم نبودن اجزای اصلی نیروگاه در برابر آب

یکی از دلایل اصلی حادثه، آسیب وارده به اجزای سیستم پمپ خنک‌کننده با آب دریا، ژنراتور دیزلی اضطراری، تابلوهای برق و غیره بر اثر سیلاب‌های ناشی از سونامی بوده است که منجر به از کار افتادن سیستم خنک‌کننده‌ی رآکتورها شده و پاسخ‌گویی با فوریت هسته‌ای را دشوار نمود. مقاوم‌سازی بخش‌ها و تجهیزات نیروگاه‌ها، فراتر از آن‌چه در طراحی کنونی دیده شده، در برابر سونامی‌های بزرگ بسیار ضروری است. نصب درب‌های مقاوم در برابر سیلاب، مسدود ساختن مسیرهای نفوذ سیلاب به تأسیسات از جمله لوله‌ها، و نصب پمپ‌های تخلیه‌ی آب از جمله راه‌کارهای احتمالی برای چنین مقاوم‌سازی‌اند.

٦.۳ عدم ایفای نقش جذب به وسیله‌ی بسیاری از اقدام‌های مدیریت حادثه[۷]

در این حادثه هر چند بخشی از اقدام مانند تزریق آب به رآکتور با ماشین‌های آتش نشانی به اجرا درآمدند، بسیاری از اقدام‌ها نقش خود را به خوبی ایفا ننمودند. از آن جمله می‌توان به راه‌اندازی دوباره‌ی سیستم تأمین برق و خنک‌سازی رآکتورها اشاره کرد. گذشته از این، مبنای عمدتاً داوطلبانه و نه قانونی (اجباری) نقش افراد شرکت‌کننده در عملیات، منجر به کم اثر شدن مدیریت حادثه شد. قابل ذکر است که شیوه‌نامه‌ی مدیریت حوادث اعمال شده در این حادثه که در سال ۱۹۹۲ در ژاپن تدوین شده بود تا زمان بروز حادثه مورد بازنگری و اصلاح قرار نگرفته بود.

۷.۳ عدم استقلال رآکتورها

این حادثه در نیروگاهی با بیش از یک رآکتور رخ داد. با توجه به درگیر شدن هم‌زمان ۴ رآکتور در حادثه، امکانات موجود برای مقابله با حادثه به ناچار میان آن‌ها توزیع شده، و گسترش حادثه در یک رآکتور حتی بر عملیات جاری بر روی سایر رآکتورها تأثیرگذار بود. حصول اطمینان از توانایی مقابله‌ی کارآمد با حوادث در نیروگاه‌هایی با چند رآکتور نیازمند بررسی راه‌کارهای مناسب برای افزایش ایمنی چنین جای‌گاه‌هایی به ویژه بر پایه‌ی نتایج تجزیه و تحلیل خطر است. بهینه‌سازی طراحی و ساخت، بهبود ساختار ایمنی و افزایش استقلال هر رآکتور در پاسخ‌گویی به حوادث تنها چند نمونه از اصلاحات مورد نیاز احتمالی است.

٤. عوامل ریشه‌ای

همان‌گونه که در بخش پیشین اشاره شد، کاستی‌های جدی در تدابیر پیش‌گیرانه سهم به سزایی در بروز حادثه و عمیق شدن بحران ایفا نمودند. اما آن‌چه نمی‌توان به سادگی از کنار آن گذشت ناکارآمدی سیستم مدیریت ایمنی[۸] هسته‌ای کشور ژاپن به مفهوم کلان آن در برخورد و مهار این بحران بوده است. از جمله‌ی الزامات یک سیستم مدیریت ایمنی ملی کارآمد و کارآ می‌توان موارد زیر را بر شمرد:

- وجود یک نظام ایمنی هسته‌ای مستقل از بهره‌بردار، توانمند، کارآمد و کارآ؛
- وجود فرهنگ ایمنی نیرومند در بهره‌برداری از تأسیسات هسته‌ای و از جمله بها دادن مدیریت بهره‌برداری به نتایج مطالعات ایمنی و خطر؛
- یادگیری و عبرت گرفتن بهره‌برداران از درس‌های برگرفته از حوادث رخ داده در داخل یا خارج کشور.

کمینه‌سازی پی‌آمدهای زیانبار حوادث از جمله به هنگام بروز حادثه‌ای فراتر از پیش‌بینی‌های طراحی در تأسیسات هسته‌ای (هم‌چنان‌چه در فوکوشیما روی داد) به طور عمده وظیفه‌ی بهره‌بردار است، هر چند در چنین شرایطی گاه دیگر سازمان‌ها و حتی واحد قانونی تا حد امکان به یاری تأسیسات بحران‌زده می‌شتابند. باید توجه داشت که نقش و وظیفه‌ی نظام ایمنی هسته‌ای (واحد قانونی) در هر کشور تدوین ضوابط، مقررات و استانداردهای لازم، ارزیابی ایمنی تأسیسات در مراحل گزینش جای‌گاه، ساخت، راه‌اندازی، بهره‌برداری و برچیدن، صدور مجوزهای لازم و انجام بازرسی و به طور کلی نظارت بر رعایت تمامی جنبه‌های ایمنی در تأسیسات هسته‌ای و پرتوی است. حفاظت از مردم، محیط زیست و نسل‌های آینده به بهترین شکل شدنی تنها زمانی میسر خواهد بود که واحد قانونی از جای‌گاه شایسته و بایسته برخوردار بوده و ضوابط و مقررات حاکم بر فعالیت‌های هسته‌ای و پرتوی در کشور به درستی و بی‌کم و کاست به مورد اجرا گذاشته شوند. ایفای چنین نقش و وظیفه‌ای نیازمند برخورداری واحد قانونی از استقلال و اختیارات کافی و وجود زیرساخت‌های فرهنگی، فنی و مدیریتی مناسب در یک کشور است. در این بخش این جنبه از زیرساخت‌ها در کشور ژاپن در پیش از بروز حادثه مورد بررسی قرار گرفته است.

Archive of SID
www.SID.ir

۱.٤ استقلال واحد قانونی و روشن ساختن مسئولیت‌ها و اختیارات

در زمان بروز حادثه‌ی فوکوشیما، نظام ایمنی هسته‌ای ژاپن (NISA) در زیر مجموعه‌ی وزارت اقتصاد، بازرگانی و صنعت نقش واحد قانونی ژاپن را ایفا می‌نمود و کمیسیون ایمنی هسته‌ای[۹] وابسته به هیأت دولت، وظیفه‌ی نظارت بر عملکرد ادارات دولتی مسئول در زمینه‌ی ایمنی هسته‌ای را بر عهده داشته است. از دیگر سو، پایش محیط در صورت بروز حوادث وظیفه‌ی اداره‌های محلی بوده است. با وجود تمامی این اداره‌های مسئول، به طور دقیق مشخص نبوده که چه نهاد یا سازمانی نقش اولیه‌ی حفاظت از مردم در برابر حادثه‌ی رخ داده را بر عهده داشته است [۹]. چنین توزیع مسئولیت و اختیاراتی به نوعی مانع از به کارگیری امکانات موجود در سریع‌ترین و به بهترین روش ممکن در پاسخ‌گویی به حادثه‌ی موردنظر شد. مهم‌تر از این، باید به مستقل نبودن واحد قانونی ژاپن از یکی از بزرگ‌ترین بهره‌برداران صنعتی وزارت اقتصاد، بازرگانی و صنعت (METI)[۱۰] در طول دهه‌های گذشته اشاره نمود. این امر منجر به اعمال نظر و نفوذ بهره‌بردار در تدوین مقررات، نظارت بر اجرای آن‌ها و اعمال محدودیت‌هایی در نیروگاه‌های هسته‌ای ژاپن می‌شده است. لازم به ذکر است که توصیه‌های پیشین آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و برخی سازمان‌های تخصصی، مبنی بر لزوم جداسازی نظام ایمنی هسته‌ای از نهادهای دولتی دیگر، متأسفانه تا زمان بروز حادثه مورد توجه جدی دولت ژاپن قرار نگرفته بود [۸]. دولت ژاپن در سال ۲۰۱۱ براساس درس‌های برگرفته از حادثه‌ی فوکوشیما تصمیم به ایجاد سازمان ایمنی و امنیت هسته‌ای[۱۱] گرفت تا بدین وسیله با تقویت ساختار یکپارچه، متمرکز و مستقل واحد قانونی در زمینه هسته‌ای قادر به اجرای اصلاحات لازم در زیرساخت‌های ایمنی هسته‌ای خود شود [۹]. در پی این تصمیم مهم، نهایتاً نظام ایمنی هسته‌ای[۱۲] به عنوان یک سازمان بیرونی اما مرتبط با وزارت محیط زیست ژاپن در سپتامبر ۲۰۱۲ برپا شد. این سازمان از نظر ساختار و اهداف شباهت زیادی با نظام ایمنی هسته‌ای ایران دارد که چند دهه پیش تأسیس شده است. اما کاملاً مستقل از نهادهای بهره‌بردار است [۱۰].

۲.٤ تدوین و اجرای مقررات و استانداردهای ایمنی

با توجه به این‌که در حال حاضر نیروگاه‌های زیادی در کشورهای مختلف در حال کار هستند که در صورت بروز حادثه‌های مشابه قادر به ایجاد پی‌آمدهای مشابه و حتی بدتری هستند، تدوین و تصویب قوانین و مقرراتی که بهره‌برداران نیروگاه‌های هسته‌ای را وادار به انجام ارزیابی‌های ایمنی فراگیر و انجام آزمون‌های تنش نماید اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا تهیه و تدوین ضوابط و راهنماهای مرتبط از دیگر وظایف واحد قانونی هر کشور است. واحدهای قانونی می‌توانند در این زمینه از همکاری‌های فنی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی بهره‌مند شده و بدین وسیله راه را برای افزایش دوام‌پذیری و آمادگی مقابله با حوادث هسته‌ای در نیروگاه‌ها هموارتر سازند [۹].

۳.٤ فرهنگ ایمنی

فرهنگ ایمنی یکی از پایه‌های اصلی سیستم مدیریت ایمنی است. بررسی شرایط پیش از بروز حادثه در نیروگاه و رویدادها و واکنش‌های انجام شده پس از بروز حادثه بیان‌گر وجود کاستی‌هایی در فرهنگ ایمنی مدیران و نیز کارکنان نیروگاه فوکوشیما است [۹]. همان‌گونه که در اصول بنیادی ایمنی بدان اشاره شده است نهادینه‌سازی فرهنگ ایمنی در سیستم مدیریت منجر به هدایت خواست و رفتار سازمانی و فردی در جهت ایمنی می‌شود [۱۱].

فرهنگ ملی ژاپن با خمیر مایه‌ی اطاعت بی‌چون و چرا و روحیه‌ی پرسش‌گری نه چندان بالا در سطوح کارشناسی و مدیریتی یکی از عوامل زمینه‌ساز در شکنندگی فرهنگ ایمنی این کشور بوده است. نارسایی در فرهنگ ایمنی حتی در روش و رفتار دولت ژاپن در مدیریت حادثه‌ی فوکوشیما نیز به چشم می‌خورد زیرا دسترسی آسان و به هنگام مردم آن کشور به خبرهای مهم در مورد حادثه مانند ذوب قلب رآکتور و بدترین سناریوی محتمل فراهم نشد. این رفتار در شرایط برخورداری جامعه از شبکه اینترنتی گسترده، موجی از شایعه‌ها و خبرهای نادرست را موجب شد تا حدی که مسئولیت‌پذیری و انتقادپذیری دولت آن کشور به طور جدی مورد تردید قرار گرفت [۸]. شایان ذکر است که در ژوئن ۲۰۰۸ یکی از مدیران بلند پایه‌ی شرکت بهره‌بردار نیروگاه فوکوشیما (TEPCO) به وسیله‌ی کارشناسان خود در جریان نتایج محاسباتی مبنی بر احتمال برخورد امواجی با بلندای بیش از ۱۰ متر به نیروگاه فوکوشیما در صورت بروز زلزله‌ای با قدرت ۸٫۳ ریشتر قرار گرفت [۱۲]. پس از بررسی محاسبه‌ها با یک روش دیگر مدل‌سازی سونامی، TEPCO گزارشی در این زمینه در ۷ مارس ۲۰۱۱ (۴ روز پیش از بروز سونامی) به نظام ایمنی هسته‌ای ژاپن ارایه داد. با توجه به احتمال نه چندان کم بروز زلزله‌هایی در حدود ۸٫۳

Archive of SID

www.SID.ir

ریشتر و حتی بیش‌تر در منطقه، روشن است که مدیریت TEPCO زمان بسیار زیادی را برای بررسی چنین نکته‌ی مهمی از دست داده است. آن‌گونه که نظام ایمنی هسته‌ای ژاپن اعلام کرده، نیاز به بررسی مفروضات به کار رفته در محاسبه‌ها، متأسفانه موجب شد هیچ گونه تصمیمی بر پایه‌ی این گزارش گرفته نشود.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

بررسی ترتیب زمانی حادثه‌ی نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما و فراز و نشیب‌های رخ داده در دوره‌ی زمانی نزدیک به ۵ ماه پس از آن نشان‌گر وجود کاستی‌هایی در طراحی نیروگاه‌های هسته‌ای کنونی و نیز مدیریت بحران در آن‌ها حتی در پیشرفته‌ترین کشورهای جهان است. در این نوشتار با بهره‌گیری از گزارش‌های بهره‌بردار نیروگاه اتمی فوکوشیما، واحد قانونی دولت ژاپن، آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و دیگر سازمان‌های مرتبط به بررسی توالی رویدادها و اقدام‌های انجام شده در پی حادثه پرداخته شده است تا تصویری از نوع و کیفیت فازهای گذار از بحران و اهمیت مدیریت هر فاز در پیش‌گیری از گسترش حادثه به دست آید. این بررسی نشان‌گر وجود یک فاز شوک طولانی در آغاز مدیریت بحران نیروگاه فوکوشیما- دایچی است که دور از انتظار است. این مرحله‌ی طولانی با دو دوره‌ی طولانی دیگر: فاز کمبود و فاز ارزیابی دنبال شد که هر یک به نوعی ورود به فازهای اصلی و چاره‌ساز اقدام‌های فراگیر و نهایتاً کنترل بحران را به تأخیر انداخت.

به منظور درک دلایل ریشه‌ای بروز فازهای طولانی مقدماتی (سه فاز نخست)، تمهیدات پیش‌گیرانه‌ی موجود در نیروگاه اتمی فوکوشیما از نقطه‌نظر طراحی پایه در ساخت و نیز زیرساخت‌های ایمنی هسته‌ای کشور ژاپن در پاسخ‌گویی به حادثه هسته‌ای رخ داده مورد ارزیابی قرار گرفت. این بررسی وجود سه عامل ریشه‌ای در بروز، گسترش و کنترل نامناسب حادثه در نیروگاه فوکوشیما را روشن ساخت که عبارت از مستقل نبودن واحد قانونی آن کشور از دیگر نهادهای دولتی به ویژه نهاد بهره‌بردار، کاستی در تدوین و اجرای استانداردهای ایمنی هسته‌ای در راستای ارتقا ایمنی نیروگاه‌های موجود و کمبود فرهنگ ایمنی از سطح کارکنان تا بالاترین نهادهای تصمیم‌گیر هستند. بدیهی است که هیچ کشور برخوردار از تأسیسات هسته‌ای از چنین حوادثی در امان نیست و راهی که دیگران با صرف هزینه‌های هنگفت پیموده‌اند امروز کتاب خوانده شده‌ای پیش روی ما است.

پی‌نوشت‌ها

۱. International Nuclear and Radiological Event Scale (INES)
۲. Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA)
۳. Preventive Measures
۴. Defense in Depth
۵. Primary Containment Vessel
۶. Natural Circulating Cooling Systems
۷. Comprehensive Accident Management Measures
۸. Safety Management System
۹. Nuclear Safety Commission (NSC)
۱۰. Ministry of Econamy, Trade, and Industry
۱۱. Nuclear Safety and Security Agency
۱۲. Nuclear Regulation Authority

Archive of SID

www.SID.ir

مرجع‌ها

1. Nuclear and Industrial Safety Agency report of Japanese government to the IAEA ministerial conference on nuclear safety- The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations NISA Jun. 2011 http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html.

2. Nuclear Installation Safety Net. Appendix VI- The International Nuclear Event Scale Tutorials– Regulatory control of nuclear power plants, IAEA (2001) http://www.iaea.org/ns/tutorials/regcontrol/chapters/appendix.pdf.

3. T. Suzuki, Occupational Exposure in Fukushima Accident, IAEA regional meeting in occupational radiation protection in emergency exposure situations, Chiba, Japan, 23 Nov. (2011).

4. Tokyo Power Electric Company evaluation status of internal exposure «over 20mSv and less or equal to 50mSv» in March and April– Attachment2 Aug. 2011, http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/ release/ betu11_e/images/110810e18.pdf.

5. K. Sakai, Lessons Learnt from Fukushima Accident, IAEA regional meeting in occupational radiation protection in emergency exposure situations, Chiba, Japan, 23 Nov. (2011).

6. H. Tatsuzaki, Medical Management of Emergency Workers, IAEA regional meeting in occupational radiation protection in emergency exposure situations, Chiba, Japan, 23 Nov. (2011).

7. Reports of Iran Nuclear Regulatory Authority about the damaged NPPs of Japan, http://www.aeoi.org.ir/Portal/Home.

8. The Fukushima Nuclear Accident and Crisis Management (Lessons for Japan-U.S. Alliance Cooperation), The Sasakawa Peace Foundation, (Sept. 2012).

9. Prime Minister of Japan and His Cabinet additional report of the Japanese government to the IAEA- The Accidents at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations (second report) (Sept. 2011) http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html.

10. Status of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant and Related Environmental Conditions, IAEA, Vienna, 26 (Sept. 2012).

11. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No GSR Part 3 (Interim), General Safety Requirements Part 3, IAEA, Vienna, (2011).

12. http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/quake_tsunami/AJ201108257639.

Archive of SID

www.SID.ir