J. Of Nuclear Sci. and Tech.

مجله علوم و فنون هسته اي

No.27, pp. 36-47, 2003

شماره ۲۷، صفحات ٤٧- ٣٦، ١٣٨٢

ارتقاي سطح ايمني هسته اي در نيروگاههاي پيشرفته روسيه (WWER) با رآكتور مدل V-392

سيد عبدالامير طبيبيان*

معاونت نيروگاههاي اتمي، سازمان انرژي اتمي ايران، صندوق پستي: ٧٤٨٤- ١٩٣٩٥, تهران - ايران

چكيده: پس از سالها بهره‌برداري از نيروگاههاي WWER 1000/320 روسي و آشكار شدن نقصهاي رآكتور مدل V-320 بكار رفته در آنها، متخصّصان روسي به كمك كارشناسان آمريكايي و آژانس بين‌المللي انرژي اتمي و همچنين مراكز تحقيقاتي داخل و خارج، نيروگاه جديدي از نوع WWER-1000 با رآكتور جديد مدل V-392 را معرفي كردند. اصلاحات در اين رآكتور شامل سوخت، سيستمهاي ايمني هسته اي، طراحي نوتروني و گرمابي (هيدروترمال) قلب رآكتور، ابزار دقيق و مدار اوّليه و ثانوية رآكتور است. در اين مقاله تنها به اصلاحات سيستمهاي ايمني هسته اي، كه از عوامل مهم ارتقاي سطح ايمني هسته اي رآكتور به شمار مي‌آيند، پرداخته شده است.

واژه هاي كليدي: *پوشش ايمني، خاموشي سريع، دفاع در عمق، سيستمهاي ايمني فعّال و غير فعّال، نگهدارنده قلب مذاب (رآكتور)*

Enhancement of the Safety Level in Advanced Russian Nuclear Power Plants (WWER) with the Reactor Model V-392

Seyed Abdolamir Tabibian*

Nuclear Power Plants Division, AEOI, P.O.Box: 19395 - 7484, Tehran - Iran

Abstract: The Russian nuclear power plant (WWER) with the reactor model V-392 is designed as a Nuclear Power Plant with the enhanced safety WWER-1000 reactor of a new generation. The safety concept has been elaborated in an evolutionary approach based on thorough analysis of operating experience and design solutions of NPP units with V-320. In the reactor model V-392 the fuel, nuclear safety system, neutron and thermal hydraulic design of the reactor core; instrumentation and control, as well as primary and secondary circuit have been modified. This article refers to nuclear safety systems that have been subjected to extensive modifications in comparison with the reactor model V-320 and also play an important part in the nuclear safety level enhancement.

Keywords: ***containment, scram, defense in depth, active and passive safety system, core melt catcher***

* email: amtabibian@hotmail.com

تاريخ دريافت مقاله : ١٣٨٠/١٠/٢٤

تاريخ پذيرش مقاله: ١٢ /١٣٨١/٥

۱- مقدمه

براي ارتقاي سطح ايمني رآكتورهاي مدل قديمي V-320 و بكارگيري اصلاحات جديد در رآكتور مدل V-392، شركتهاي روسي AEP، OKB Gidropress، Institute Kurchatov [۱] و شركتهاي خارجي EDF [۲]، GRS [۳]، Siemens وآژانس بين‌المللي انرژي اتمي(IAEA) [۴]، با اتكا بر تجزيه و تحليل ايمني به روشهاي قطعي و احتمالي راه‌حلهاي جديد طرّاحي سيستمهاي ايمني را يافتند. با آزمايشهاي متعدّد اعتبار آنها اثبات و در طرّاحي جديد رآكتور مدل V-392 منظور شد.

با توجّه به حداكثر استفاده از اصول مهندسي در مفهوم "دفاع در عمق" كه توسّط آژانس بين‌المللي انرژي اتمي توصيه شد و بر مبناي اصول ذيل، سطح ايمني اين نوع رآكتور ارتقا يافت.

۱. بكارگيري اصل تنوّع در عملكرد و يا در ساختمان سيستمهاي ايمني براي اجراي هر عمل ايمني كه رآكتور را در مقابل «علّت مشترك نقصان‌ها» حفاظت كند و دسترسي به سيستمهاي ايمني را افزايش دهد. همچنين با بكارگيري اصل تعدّد سيستمهاي ايمني چه به صورت فعّال، يعني به كمك نيروي محرّكه و چه به صورت غير فعّال، يعني بدون استفاده از نيروي محرّكه و بطور طبيعي به صورت چند رديفي با كارآيي كامل مستقل براي اجراي عمليات در هنگام كار عادي و يا در هنگام بروز حادثه در رآكتور، ايمني آن را افزايش مي‌دهند.

۲. براي جلوگيري ازخطاهاي انساني نيز راه‌حلهاي زير در نظر گرفته شده‌اند:

الف- افزايش خودكاري سيستمهاي حفاظتي و كنترلي به طوري كه دخالت كاركنان را به هنگام وقوع تعدادي از حوادث مبناي طرّاحي DBA [۵]، به ويژه هنگام نشت از مدار اوّليه به مدار ثانويه، به حداقل برساند.

ب- بكارگيري سيستمهاي غير فعّال به طوري كه فعّال شدن آنها نيازي به عمل پرسنل و يا به نيروي محرّكة خارجي نداشته و بطور طبيعي وارد عمل شوند.

۳. بكارگيري پوشش ايمني جديد براي رآكتور كه از دو لايهٔ بتون مسلح ساخته شده است. لاية بتوني خارجي استوانه‌اي با گنبد كروي به ضخامت ۶۰ سانتي‌متر است كه براي حفاظت رآكتور در مقابل حوادث خارجي، مانند سقوط هواپيما، موج انفجار، طوفان و گردباد و ساير بارهاي خارجي عليه رآكتور ساخته شده است. سطح داخلي لاية خارجي از يك مادّة پليمري پوشيده شده است تا از نشت مخلوط گاز و هواي خارج شده از لاية بتوني داخلي به هنگام بروز حادثه جلوگيري شود. بين دو لاية داخلي و خارجي بتوني، فضايي به پهناي ۲/۲ متر تعبيه شده است كه براي جمع‌آوري و تصفية مخلوط هوا و گازهاي راديوآكتيو، استقرار مبدّلهاي حرارتي كه با جريان هوا خنك مي‌شوند، همچنين براي سيستم ايمني غير فعّال خنك كردن مولّدهاي بخار بكار مي‌رود.

لاية داخلي بتوني پوشش ايمني رآكتور استوانه‌اي است با گنبد كروي كه سطح داخلي آن از فولاد ضد زنگ پوشيده شده است. ضخامت اين لايه ۱/۲ متر بوده و مجهّز به سيستمهاي دفع هيدروژن و تخلية هواي دروني ساختمان رآكتور و عبور دادن آن از صافي‌هاي ويژه است (شكل ۱).

۲- سيستمهاي ايمني اصلاح‌كننده و ارتقادهندهٔ سطح ايمني هسته‌اي در رآكتور V-392

سيستمهاي ايمني سيستمهايي هستند كه مي‌توانند رآكتور را

خاموش كرده و در حالت ايمن نگاهدارند، يا حرارت تأخيري قلب رآكتور راپس از خاموشي دفع نمايند و از عواقب اثرهاي ناشي از انحراف پارامترهاي رآكتور در حالت بهره برداري عادي از آن [AOO][٦] و يا از بروز حوادث جلوگيري به عمل آورند.

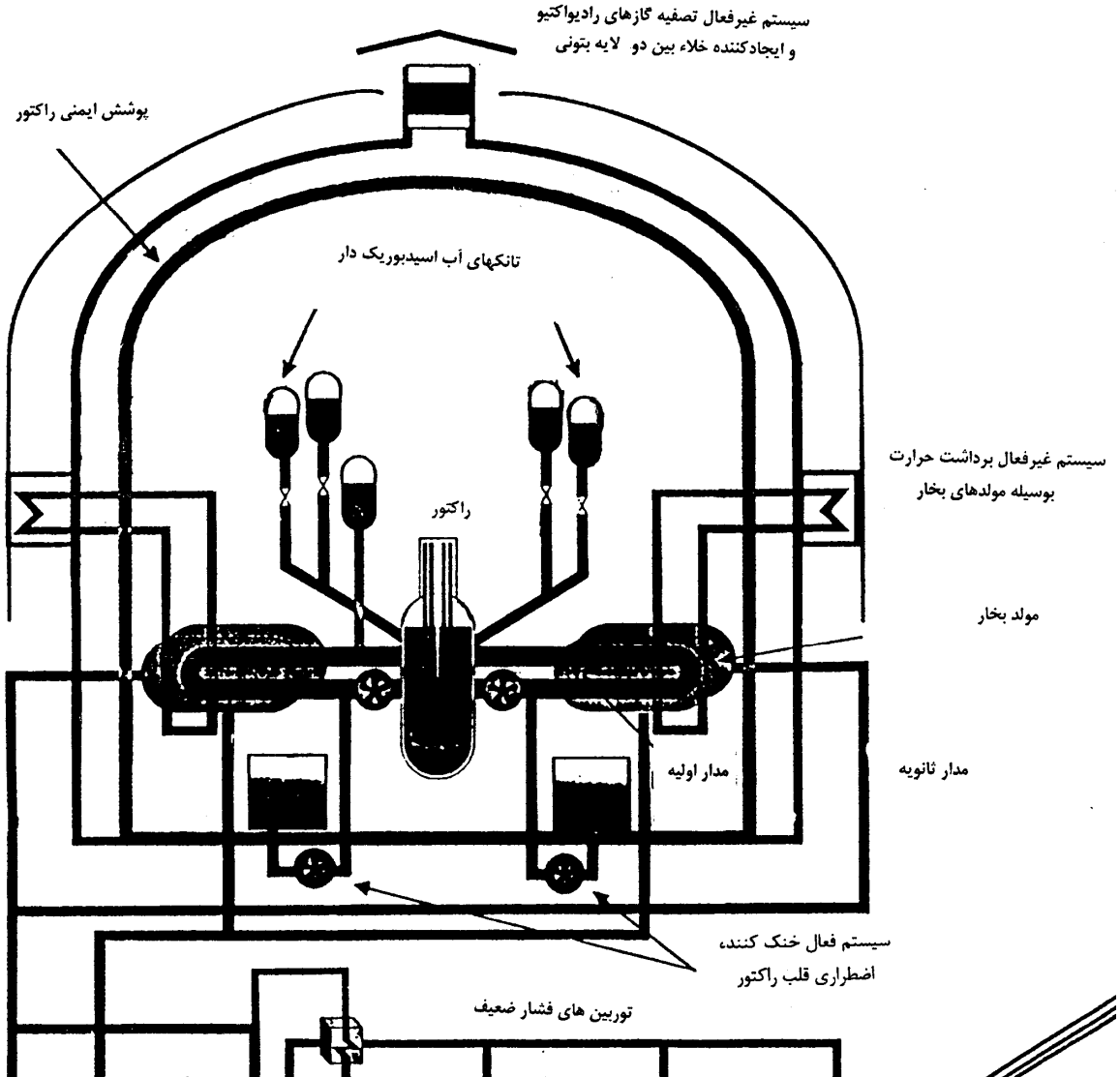
سيستمهاي ايمني رآكتورهاي روسي بر حسب عملكردشان به دو صورت زير طبقه‌بندي مي‌شوند:

- سيستمهايي كه در حالت عادي كار رآكتور بكار مي‌روند.
- سيستمهايي كه براي تضمين ايمني رآكتور كاربرد دارند.

سيستمهاي تضمين‌كننده ايمني رآكتور به چهار دسته‌ٔ حفاظتي، پشتيباني، محصوركننده‌ٔحوادث و كنترل طبقه‌بندي مي‌شوند.

سيستمهاي حفاظتي به منظور جلوگيري و يا محدود كردن آسيب رسيدن به سوخت و يا غلاف سوخت رآكتور، همچنين

شكل١- پوشش ايمني رآكتور١



براي حفاظت قطعات و لوله‌هايي كه به نحوي با مواد راديوآكتيو سروكار دارند بكار مي‌روند.

در اينجا با توجّه به موضوع مورد بحث، برخي از سيستمهاي ايمني مهّم و غير متداول در رآكتورهاي اتمي را معرّفي كرده (در نيروگاههاي اتمي سابق چنين سيستم‌هايي بكار نرفته است) و از ارائه سيستمهاي ايمني برقي و ابزار دقيق و يا تهويه‌اي صرفنظر مي‌شود.

۲-۱- سيستمهاي ايمني حفاظتي فعّال

الف- سيستم ايمني حفاظتي چند منظورة اضطراري كه خنك كنندة قلب رآكتور و آب استخر حاوي دسته‌هاي سوخت مصرفي است. اين سيستم از چهار رديف كاملاً مستقل با درجة كارآيي و ۱۰۰% × ٤ مي‌تواند در هنگام بروز حادثة قطع آب مدار اوّلية رآكتور، آب اسيد بوريك‌دار را در ضلع گرم يا در ضلع سرد مدار اوّليه، همچنين در پايين و بالاي محفظة تحت فشار تزريق كند. در حالتهاي عادي و اضطراري رآكتور، گرماي تأخيري قلب رآكتور را دفع و استخر حاوي سوختهاي مصرف شده را نيز خنك كند. از اين سيستم براي تأمين آب دوش سقف ساختمان رآكتور در هنگام بروز حادثه نيز استفاده مي‌شود و توانايي جبران آب و تزريق آن در فشارهاي bar ۸۰-۱ را دارد. اين سيستم در بيشتر رآكتورهاي مدل V-320 سه رديفه و با درجهٔ كارآيي كمتر است (شكل ۲).

ب- سيستم ايمني حفاظتي دفع حرارت از مدار اوّلية به وسيله مولّدهاي بخار مدار ثانويه. اين سيستم كه متشكّل از چهار رديف كاملاً مستقل با درجة كارآيي و تعدّد ۱۰۰% × ٤ است به وسيلهٔ مبدّلهاي حرارتي، در هنگام بروز حادثه ابتدا مدار ثانويه را و متعاقباً مدار اوّليه را خنك مي‌كند و در حالت عادي كار رآكتور، آب مولّدهاي بخار را نيز تصفيه مي‌نمايد اين سيستم در رآكتورهاي مدل V-320 وجود ندارد (شكل ۳).

۲-۲-سيستمهاي ايمني غير فعّال

الف- سيستم ايمني تزريق سريع اسيد بوريك به مدار اوّليه.

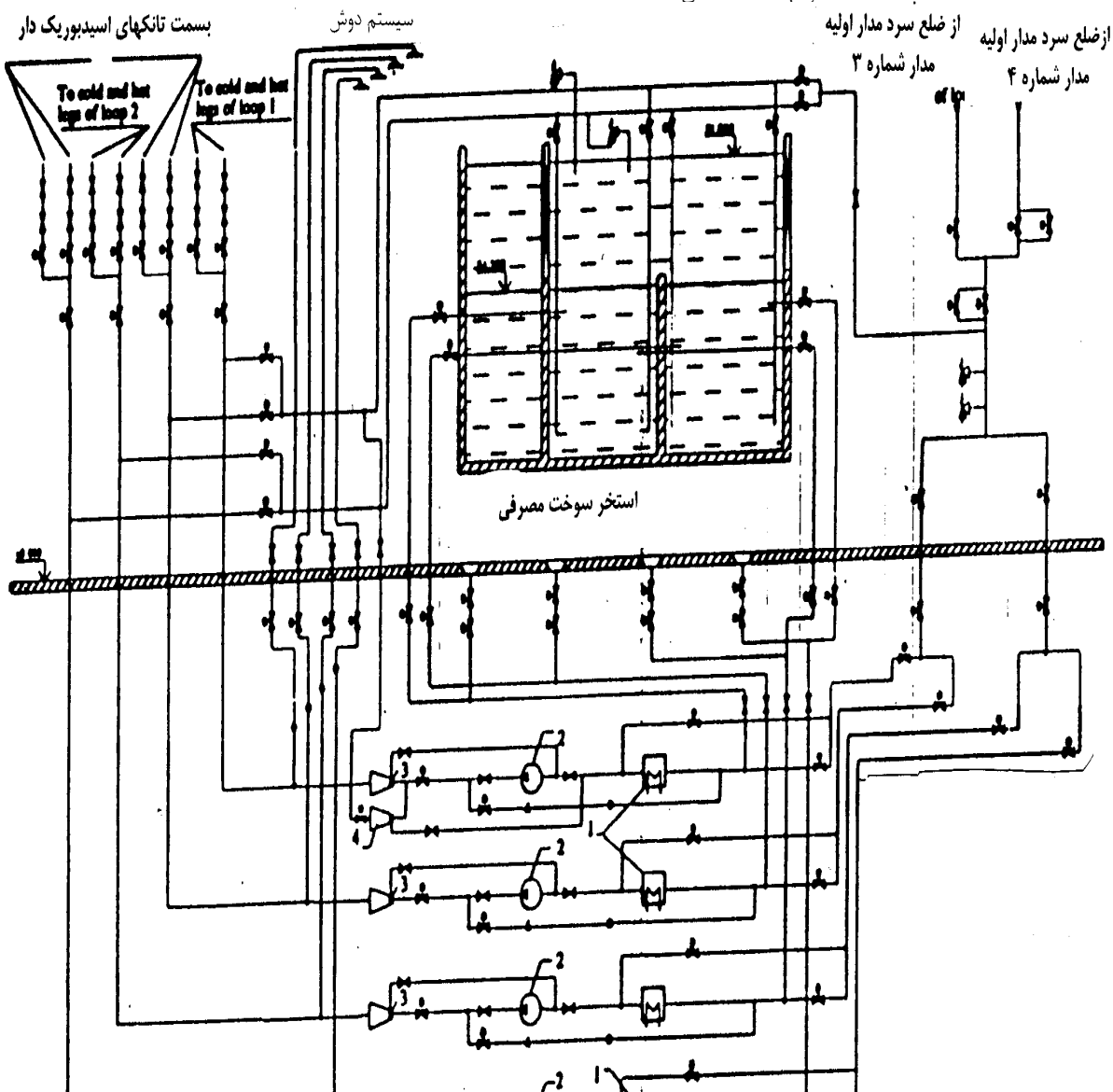
اين سيستم از چهار زير سيستم با درجة كارآيي ۲۵% × ٤ تشكيل يافته است؛ هر سيستم شامل يك مخزن اسيد بوريك در مسير كنارگذر هر پمپ مدار اوّليه (RCP) است كه هنگام بروز نقص در سيستم ميله‌هاي كنترل، به طوري كه موجب خاموشي سريع رآكتور نگردد وارد عمل مي‌شود و به صورت غير فعّال آب اسيد بوريك‌دار را داخل ورودي پمپ مدار اوّليه مي‌كند. علّت ورود آب اين سيستم به مدار اوّليه، وجود اختلاف فشار بين خروجي و ورودي پمپ مدار اوّليه است و در حالت قطع كامل برق حتي با وجود خلاص چرخيدن پمپ كار مي‌كند. يعني چنانچه ميله‌هاي كنترل‌گير كنند و رآكتور به سرعت خاموش نشود

فرماني به شيرهاي اين سيستم مي‌رسد كه با باز شدن آنها راكتور به وسيلهٔ آب اسيد بوريك دار زير بحراني مي‌گردد. اين سيستم در راكتورهاي مدل V-320 وجود ندارد.

ب- سيستم ايمني غير فعّال براي سرازير كردن آب اسيد بوريك‌دار به داخل راكتور هنگام نشت مدار اوّليه.

اين سيستم از دو قسمت تشكيل شده است: قسمت اوّل شامل چهار مخزن به نام اكومولاتور ۱ با درجة كارآيي و تعدّد ۵۰% × ٤ است كه حجم هر يك ۵۰ مترمكعب بوده و گاز ازت با فشار (٦۰ bar) به وسيلهٔ شير يك طرفه آب اسيدبوريك‌دا۱ را از بالا و پايين به محفظ ۳۹ تحت فشار وارد مي‌كند.

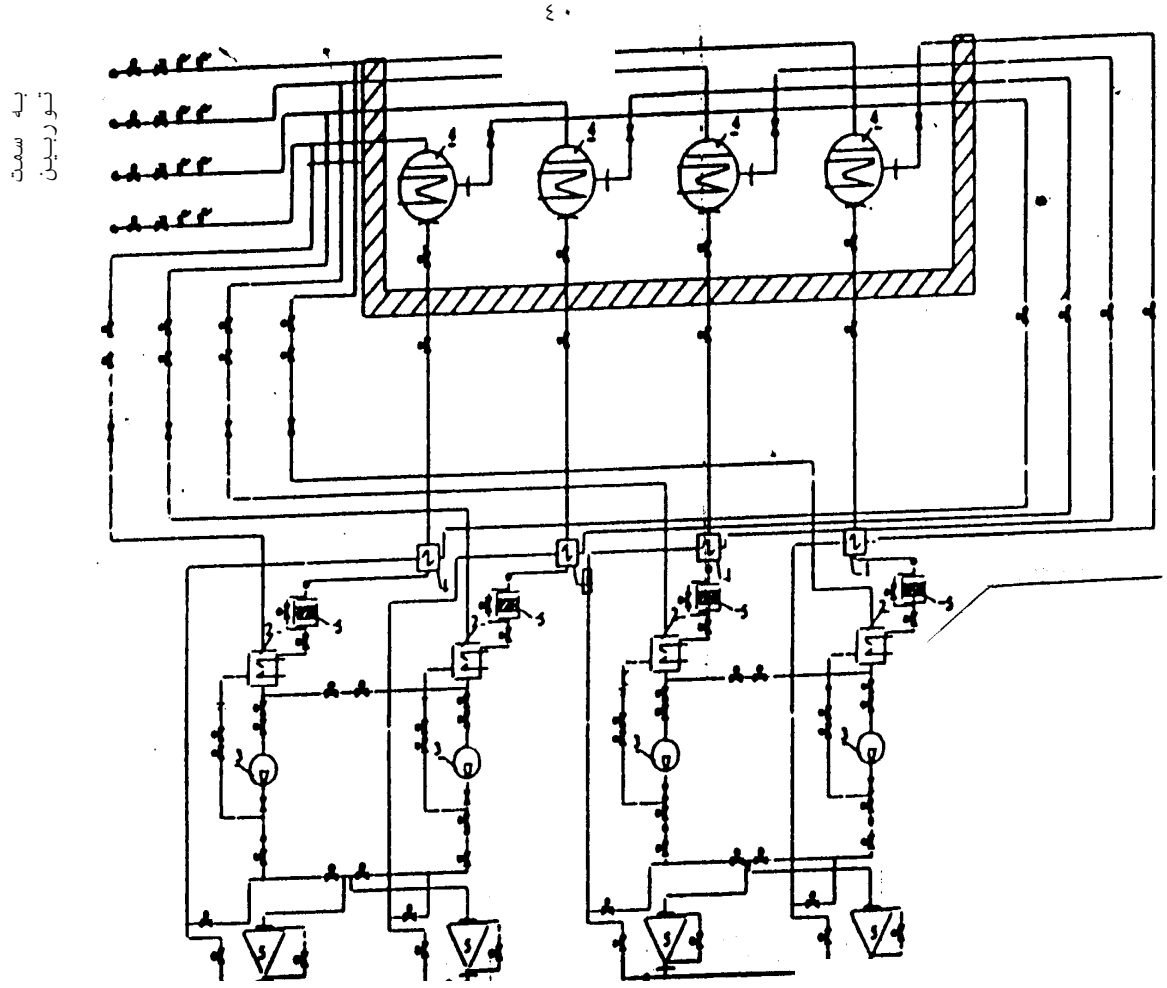
قسمت دوّم شامل هش يك۱۲۰ متر مكعب بوده و هنگام بروز حادثه مي‌تواند در فشار ۱۵ bar آب اسيدبوريك‌دار را وارد ضلعهاي گرم و سرد مدار اوّليه راكتور نمايد. آب اين مخزن‌ها حتي در بروز حادثة قطع كامل برق، مي‌تواند به مدت ۲٤ ساعت راكتور را خنك نگهدارد. چنانچه قطع برق ادامه يابد، خنك كردن قلب راكتور توسّط سيستم غير فعّال به وسيلهٔ مولّدهاي بخار و آن نيز توسّط مبدّلهاي حرارتي كه با جريان طبيعي هوا خنك مي‌شوند، ميّسر مي‌گردد. راكتورهاي V-320 فقط قسمت اوّل اين سيستم را دارند (شكل ٤).



ليست

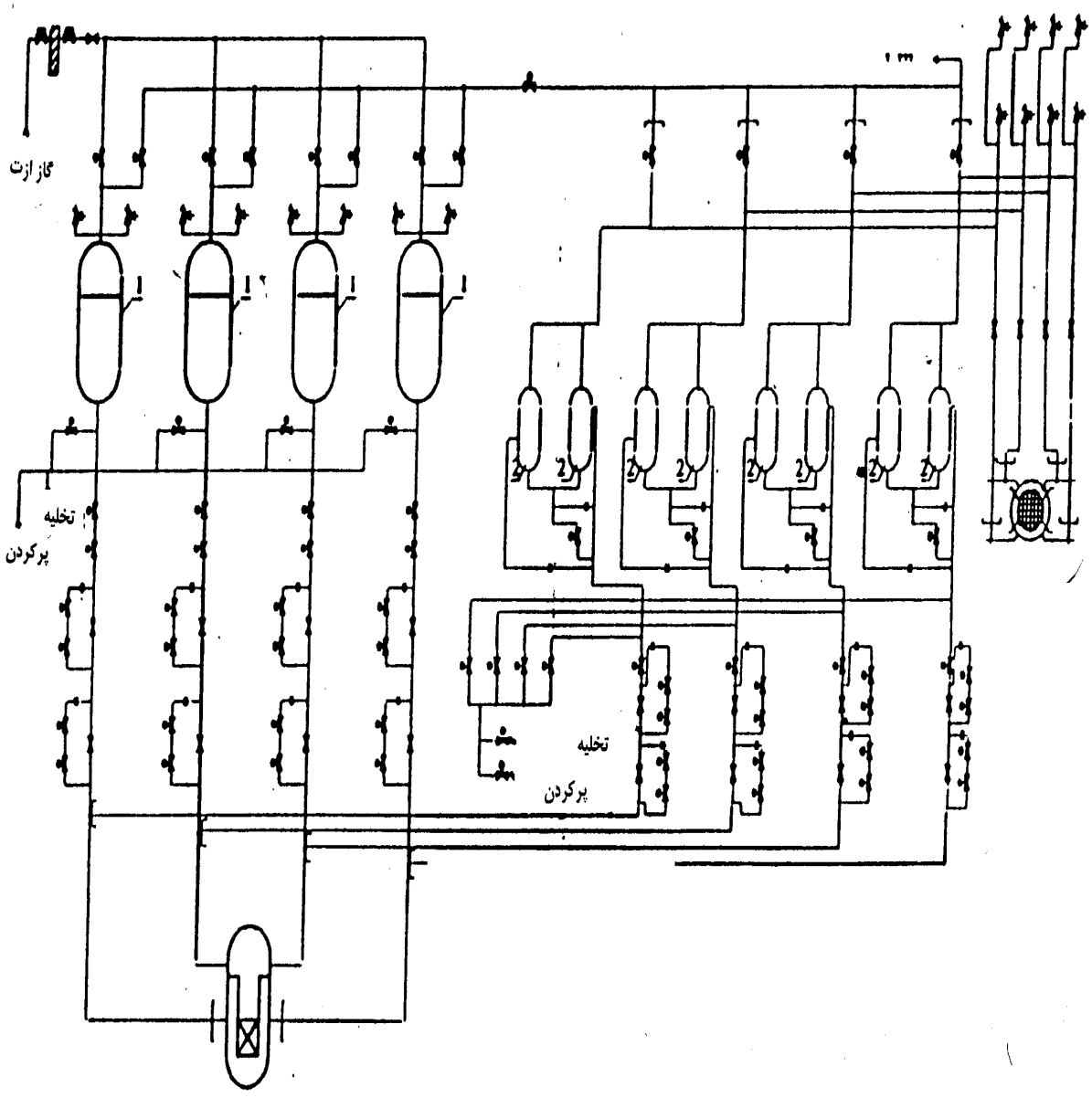
قطعه	شرح	اندازه	تعداد
۱	مبدلهاي حرارتي خنك كننده	S= ۹۳۰M۲	٤
۲	پمپهاي خنك كننده	Q= ۲۳۰M۳/h	٤
۳	جت پمپهاي اصلي	Q=۲۳۰- ۸۰۰M۳/h	٤
٤	جت پمپهاي كمكي	Q=۲۰ -۳۰ M۳/h	٤

شكل ۲- خنك كننده اضطراري قلب رآكتور و استخر سوختهاي مصرفي



قطعه	شرح	اندازه	تعداد
١	سطح تبادل حرارتي مبدل حرارتي	S=٥٥ M٢	٤
٢	توان تبادل حرارتي مبدل حرارتي	N=٦٤ MW	٤
٣	پمپهاي خنك كننده اضطراري	Q=١٥٠ M٣\h P=٠/٢MPa	٤
٤	مولد بخار		٤
٥	فيلترهاي دماي بالا		٤

شكل ٣- سيستم هاي فعّال خنك كننده اضطراري و تصفيه آب مولّدهاي بخار



ليست قطعات

قطعه	شرح	اندازه	تعداد
۱	تانكهاي قسمت اول	V=۶۰ m³ P=۶/۰MPa	٤
۲	تانكهاي قسمت دوم	V=۱۲۰ m³ P=۱/٥MPa	۸

شكل ٤ - سيستم غير فعّال مخزن‌هاي اسيد بوريك

ج- سيستم ايمني غير فعّال جذب حرارت مدار اوّليه به وسيلهٔ مولّدهاي بخار. اين سيستم براي خنك كردن طولاني قلب رآكتور و مدار اوّليه آن در هنگام بروز حادثه بكار مي رود و از چهار رديف با درجة كارآيي ۳۳% × ٤ تشكيل شده است. هر رديف به يك مولّد بخار و يك مبدّل حرارتي موجود در فضاي مياني دو لاية بتوني ساختمان رآكتور اختصاص دارد. اين مبدّل حرارتي بطور غير فعّال با عبور هواي آزاد، مولد بخار را خنك مي‌كند و متعاقباً مدار اوّليه با گردش طبيعي آب خنك مي‌شود (شكلٍ٥). اين سيستم در رآكتورهاي مدل V-320 وجود ندارد.

د- سيستم ايمني غير فعّال فشار منفي بين دو لاية بتوني پوشش رآكتور. اين سيستم ايمني در حادثه‌هاي وراي مبناي طرّاحي رآكتور (BDBA)[۷] توانايي جمع‌آوري مخلوط گاز و بخار راديوآكتيو را دارد و قبل از دفع آن به هواي آزاد از صافي‌هاي ويژه عبور داده و تصفيه مي‌كند. خلاء لازم، در اثر عبور هوا از اين معبر بطور غير فعّال ايجاد مي‌شود. اين سيستم در رآكتورهاي مدل V-320 وجود ندارد.

ه- بكار بردن نگهدارندة قلب مذاب رآكتور در زير محفظه تحت فشار. براي اطمينان از اينكه در حوادث وراي مبناي طرّاحي، كه منجر به ذوب سوخت مي‌شوند مواد راديوآكتيو از حدود مشخّصي تجاوز نكنند، اين محفظه از بتون مسلح به قطر ۳ متر ساخته شده و داراي ورودي آب وخروجي بخار است به طوري كه بتواند قلب مذاب را نيز خنك نگهدارد (شكلٍ٦). اين نگهدارنده در رآكتورهاي مدل V-320 وجود ندارد.

۳ - نتيجه گيري

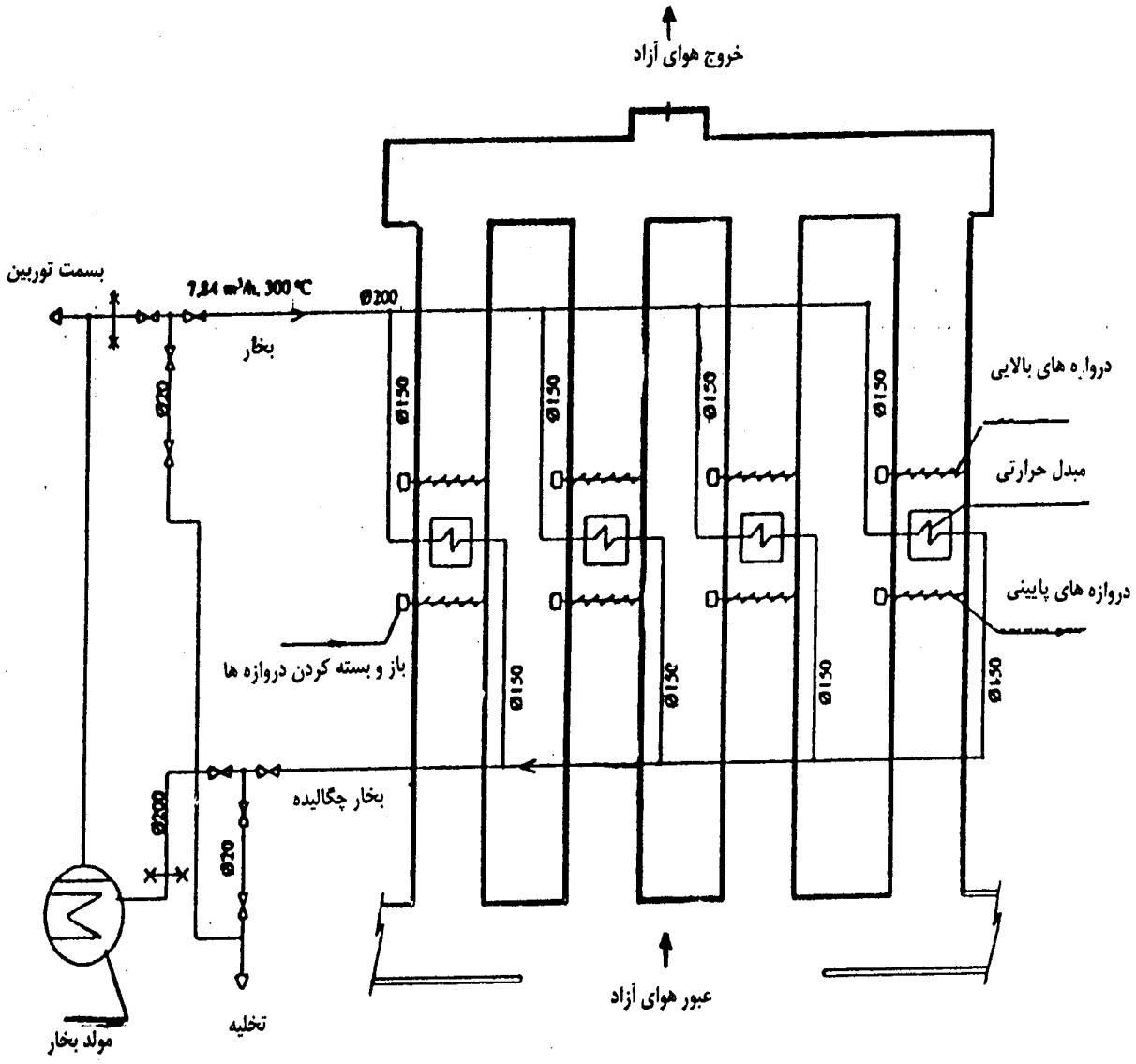
سيستمهاي ارائه شده در اين مقاله, يا در طرّاحي رآكتورهاي V-320 اصلاً بكار نرفته‌اند، يا اگر بكار رفته‌اند با تعداد رديفهاي كمتر و كارآيي كمتر بوده‌اند. در مورد حوادث وراي مبناي طرّاحي (BDBA) كه در آن سوخت رآكتور آسيب مي‌بيند, سيستمهاي ويژه‌اي به طور غير فعّال

در مدل V-392 بكار رفته‌اند كه تراز ايمني آنرا افزايش داده‌اند.

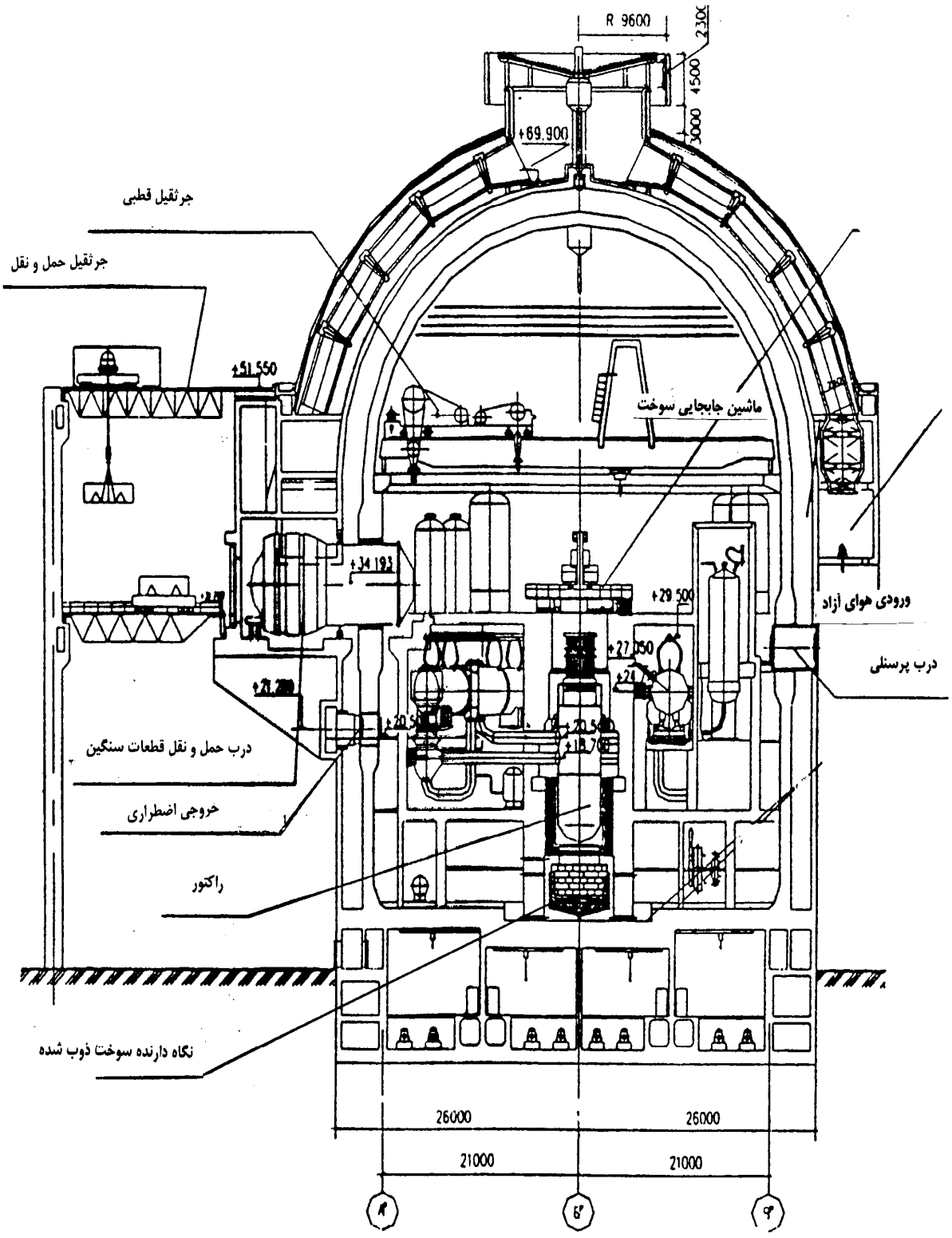
در جدول ۱ توزيع احتمال آسيب رسيدن به قلب رآكتور كه از انواع حوادث داخلي آغازگر (IE)[۸] ناشي مي‌شود در مدل V-392 نشان داده شده است. و بهبود سطح ايمني رآكتور با مقايسه با مدل V-320 در جدول ۲ رآكتور مشاهده مي‌شود.

احتمال وقوع پيش آمدهاي آغازگر (IE) را با محاسبات آماري پيچيده بدست مي آورند و به وسيلهٔ آنها سهم وقوع هر پيش آمد را كه منجر به بدترين حادثه، يعني آسيب رسيدن به قلب رآكتور، مي‌شود بدست مي آورند. احتمال آسيب رسيدن به قلب هر رآكتور V-392 در سال برابر $۴/۷۷ \times ۱۰^{-۸}$ است كه در مقايسه با ساير رآكتورها، حتي رآكتورهاي مدرن كه اين احتمال در آنها مضربي از $۱۰^{-۶}$ است، كمتر بوده است (جدول ۱).

در جدول ۲، اين احتمال براي رآكتورهاي V-320 وV-392 مقايسه شده است. در اين جدول توزيع احتمال براي هفت پيش آمد مهّم منظور شده امّا در جدول ۱ اين توزيع براي نه (۹) پيش‌آمد مهّم در نظر گرفته شده است. با مقايسهٔ عدد $۴/۲۷ \times ۱۰^{-۵}$ براي رآكتورهاي V-320 و عدد $۲/۸۵ \times ۱۰^{-۸}$ براي رآكتورهاي V-392 معلوم مي‌شود كه احتمال آسيب به قلب رآكتور تا چه اندازه كمتر است. و اين نشان مي‌دهد كه با بكارگيري سيستمهاي جديد، تراز ايمني رآكتور افزايش يافته است.



شکل ۵- سیستم
غیر فعّال برداشت حرارت به وسیلهٔ مولّدهاي بخار



شکل ٦- طرح کلّي رآکتور V-392 که در آن نگهدارنده سوخت ذوب شده ديده مي‌شود

جدول ١ - توزيع احتمال پيش آمدهاي آغاز گر[٨](IE) در رآکتور V-392 که منجر به آسيب در قلب

رآكتور مي‌گردند.

پيش آمدهاي آغاز گر (IE)[۸]	احتمال وقوع براي هر رآكتور در سال	توزيع احتمال آسيب به قلب رآكتور	
		احتمال مطلق براي هر رآكتور در سال	% احتمال نسبي
۱- حوادث از دست رفتن خنك كننده قلب رآكتور در زير پوشش ايمني رآكتور (LOCA)	—	—	-
۱/۱. حادثه كوچك مانند شكستن لوله هاي نازك متّصل به مدار اوّليه (SLOCA)	۳/۲۰ × ۱۰$^{-۳}$	۱/۲۶ × ۱۰$^{-۹}$	۸ ۲/۶
۱/۲. حادثه متوسّط مانند شكستن لوله هاي متوسّط متّصل به مدار اوّليه (MLOCA)	۱/۰۰ × ۱۰$^{-۳}$	۳/۶۴ × ۱۰$^{-۱۰}$	<۱
۱/۳. حادثه بزرگ مانند شكستن لوله اصلي مدار اوّليه (LLOCA)	۳/۲۰ × ۱۰$^{-٤}$	۶/۷۹ × ۱۰$^{-۱۰}$	۸ ۱/٤
۲- قطع لوله هاي مدار ثانويه و از دست رفتن آب مدار ثانويه	۱/۰۰ × ۱۰$^{-۳}$	۱/۲۶ × ۱۰$^{-۹}$	۸ ۲/۶
۳- خاموشي رآكتور	۱/۰۰ ×۱۰۰	۷/۳۸ × ۱۰$^{-۹}$	۸ ۱۵
٤- عدم برداشت حرارت از مدار ثانويه	۱/۰۰ × ۱۰$^{-۱}$	۷/۳۸ × ۱۰$^{-۹}$	۸ ۱۵
٥- قطع برق خارجي نيروگاه	۱/۰۰ × ۱۰$^{-۱}$	۷/۹۱ × ۱۰$^{-۹}$	۸ ۱۶
۶- قطع خط لوله مجزّا از مولّد بخار	۱/۰۰ × ۱۰$^{-۳}$	۲/۶۷ × ۱۰$^{-۱۱}$	<۱
۷- قطع خط لوله متّصل به مولّد بخار	٤/۰۰ × ۱۰$^{-٤}$	۱/۲۹ × ۱۰$^{-۱۰}$	<۱
۸- عدم برداشت حرارت در هنگام خاموشي رآكتور و باز بودن درِ محفظه تحت فشار	۳/٥۰ × ۱۰$^{-٥}$	۱/۰۷ × ۱۰$^{-۸}$	۸ ۲۲
۹- قطع برق خارجي نيروگاه در هنگام خاموشي رآكتور و باز بودن درِ محفظه تحت فشار	۳/۷۰ × ۱۰$^{-۳}$	۱/۱۲ × ۱۰$^{-۸}$	۸ ۲۳
احتمال كلّي پيش آمدهاي آغاز گر		٤/۷۷ × ۱۰$^{-۸}$	۱۰۰

جدول ۲ - مقايسه توزيع احتمال آسيب به قلب رآكتور V-392 با رآكتور شماره ٤ بالاكوا روسيه V-320

پيش آمدهاي آغاز گر (IE)[8]	احتمال IE	توزيع احتمال آسيب به قلب رآكتور			
		رآكتور مدل V-392		رآكتور مدل V-320	
		احتمال مطلق براي هر رآكتور در سال	% احتمال نسبي	احتمال مطلق براي هر رآكتور در سال	% احتمال نسبي
١- حوادث از دست رفتن خنك كننده قلب رآكتور در پوشش ايمني راكتور (LOCA)	—	—	—	-	-
١/١. حادثه كوچك مانند شكستن لوله‌هاي نازك متّصل به مدار اوّليه (SLOCA)	$\times 10^{-3}$ ٣/٢٠	$\times 10^{-9}$ ١/٢٦	٨ ٤/٩	$3/40\times10^{-7}$	٠/٨
١/٢. حادثه متوسّط مانند شكستن لوله‌هاي متوسّط متّصل به مدار اوّليه (MLOCA)	$\times 10^{-3}$ ١/٠٠	$\times 10^{-10}$ ٣/٦٤	٨ ١/٤	$8/30\times10^{-8}$	٠/٢
١/٣. حادثه بزرگ مانند شكستن لوله اصلي مدار اوّليه (LLOCA)	$\times 10^{-4}$ ٣/٢٠	$\times 10^{-10}$ ٦/٧٩	٨ ٢/٦	$5/40\times10^{-8}$	٨ ٠/١
٢- تداخل انواع (LOCA)	$\times 10^{-3}$ ١/٠٠	$\times 10^{-9}$ ١/٢٨	٨ ٤/٩	$1/10\times10^{-6}$	٨ ٢/٦
٣- خاموشي رآكتور	$\times 10^{0}$ ١/٠٠	$\times 10^{-9}$ ٧/٣٨	٨ ٢٨/٦	$1/65\times10^{-6}$	٨ ٣/٩
٤- عدم برداشت حرارت از مدار ثانويه	$\times 10^{-1}$ ١/٠٠	$\times 10^{-9}$ ٧/٣٨	٨ ٢٨/٦	$\times 10^{-7}$ ٦/٥٠	٨ ١/٥
٥- قطع برق خارجي نيروگاه	$\times 10^{-1}$ ١/٠٠	$\times 10^{-9}$ ٧/٩١	٨ ٣٠/٦	$3/54\times10^{-5}$	٨ ٨٢/٩
٦- قطع خط لوله مجزّا از مولّد بخار	$\times 10^{-3}$ ١/٠٠	$\times 10^{-11}$ ٢/٦٧	٨ ٠/١	$3/40\times10^{-6}$	٨ ٨/٠
٧- قطع خط لوله متّصل به مولّد بخار	$\times 10^{-4}$ ٤/٠٠	$\times 10^{-10}$ ١/٢٩	٨ ٠/٥	$1/00\times10^{-10}$	٨ ٠
احتمال كلّي پيش آمدهاي آغاز گر		$\times 10^{-8}$ ٢/٨٥	١٠٠	$4/27\times10^{-5}$	١٠٠

پي‌نوشت‌ها :

بعمل آمده است تا به سوخت رآكتور صدمه اي وارد نشود و منجر به بروز يك حادثه شديد (از جمله موارد زير) نگردد:
- قطع كامل كليه منابع تغذيه برق A.C.
- قطع كامل آب تغذيه مولّدهاي بخار.
- حادثه‌ٔ خاموش نشدن سريع رآكتور در اثر خرابي ميله‌هاي كنترل.
- حادثه قطع خنك كننده مدار اوّليه (شكستن قطورترين لوله) با نبودن سيستم خنك كننده اضطراري قلب رآكتور.
- حادثه قطع خنك كننده مدار اوّليه (شكستن قطورترين لوله) و انسداد پمپ هاي گردش آب.
- قطع لوله بخار با نبودن عدم سيستم خنك كننده اضطراري قلب رآكتور.
- قطع ٢٤ ساعته دفع حرارت تأخيري از قلب راكتور در موقع خاموشي رآكتور.

٨ -IE: Initiating Events
به اتفاقاتي اتلاق مي‌شود كه ممكن است به انواع حوادث AOO، DBA، BDBA، Sever Accident منجر شود و خودش حادثه تلقي نمي شود مانند شكستن يك لوله و يا خطاي يك اپراتور.

١-AEP: Atom Energoproekt
٢ -EDF: Electricité DE France
٣ -GRS: Gesell chaft fu Reaktor Sicherheit
٤ -IAEA: International Atomic Energy Egency
٥ -DBA: Design Basis Accident
به حوادثي اتلاق مي‌شود كه ضوابط طرّاحي نيروگاه آنها را پيش بيني كرده است به طوري كه آسيب رسيدن به سوخت رآكتور و نشت مواد راديوآكتيو از محدوده‌هاي مجاز تجاوز نكند.
٦ -AOO: Anticipated Operational Occurrence
انحراف پارامترهاي رآكتور در حالت بهره برداري رآكتور كه دست كم يك بار در طول بهره برداري اتفاق مي افتد و هيچ آسيبي به قطعات ايمني نمي‌رساند و منجر به يك حادثه (مانند خاموشي ناگهاني يكي از پمپهاي مدار اوّليه) نمي‌شود.
٧ -BDBA: Beyond Design Basis Accident
به حوادثي اتلاق مي‌شود كه شدّت آنها از حوادث (DBA) بيشتر است. برخي از آنها آسيب جدّي به قلب راكتور نمي‌رسانند و برخي ديگر بنام حوادث شديد(Sever accident) ممكن است آسيب جدّي به قلب رآكتور برسانند. معمولاً اين حوادث از تركيب چند حادثه كوچكتر (DBA) بوجود مي‌آيند. در رآكتور V-392 در موارد ذيل اقداماتي

References:

1. The documents have been represented in IAEA- IRA/4/029 workshop on Nuclear Power Plant with WWER-1000 Tehran, (July 1999).

2. IAEA – EBP-WWER-01 Guidelines for accident analysis of WWER Nuclear Power Plants (December 1995).

3. IAEA – WWER-SC-034 End of mission report on preliminary review of the design safety features of WWER-1000 type V-392 reactor proposed for Bushehr NNP in Iran (1995).

4. OPB-88/97 (PNAE G-01-011-97) General provisions for assurance of safety at nuclear power stations (1997).

5. IAEA-EBP-WWER-05 Safety issues and their ranking for WWER 1000 model 320 NPP (1996).

٦. فرهنگ نامة علوم و تكنولوژي هسته‌اي به اهتمام كميتة واژه نامة هسته‌اي سازمان انرژي اتمي ايران (١٣٧٦) .

٧. رآكتورهاي آب تحت فشار و سير تكاملي آنها در نيروگاههاي هسته‌اي, تأليف دكتر رضا خزانه (١٣٧٥).