حادثه فوکوشیما و اقدامات انجام شده در
واحد های ۱، ۲ و ۳ نیروگاه اتمی بوشهر جهت ارتقای ایمنی آن

شرکت تولید و توسعه انرژی اتمی ایران

شرکت توسعه و ارتقای ایمنی نیروگاههای اتمی – توانا

سمینار بررسی حادثه فوکوشیما – دانشگاه صنعتی شریف

اسفند ۱۴۰۲

فهرست مطالب

۱- حادثه فوکوشیما و علل وقوع آن

۲- گزارش خودارزیابی استرس تست در نیروگاههای اتمی

۳- حادثه فوکوشیما و اقدامات انجام شده در واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر جهت ارتقای ایمنی آن

۴- نتایج بدست آمده از گزارش خودارزیابی استرس تست واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر

۵- حادثه فوکوشیما و اقدامات انجام شده در واحد های ۲ و ۳ نیروگاه اتمی بوشهر

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

۱– حادثه فوکوشیما و علل وقوع آن

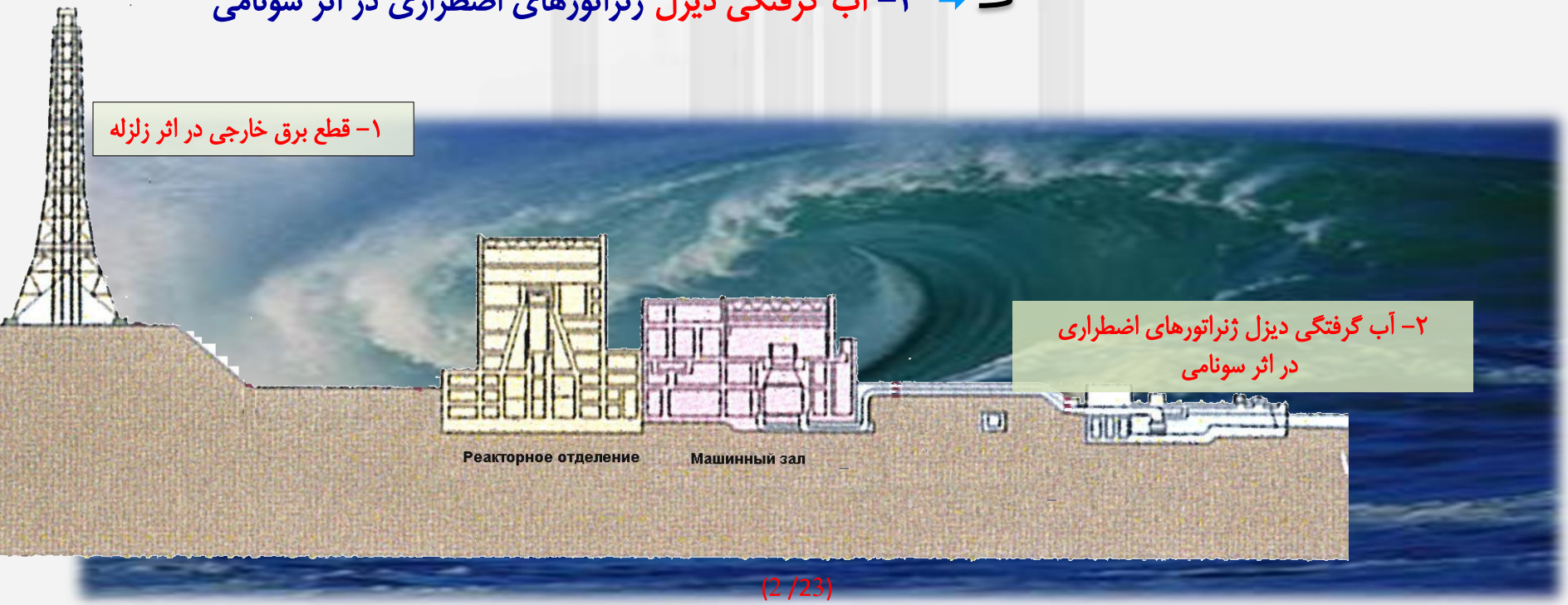
- علل وقوع حادثه فوکوشیما

قطع کامل برق نیروگاه = (2) + (1)

۱– وقوع زمین لرزه در فاصله ۱۷۰ کیلومتری نیروگاه در مارس ۲۰۱۱

(حداکثر شتاب زلزله برابر 0,35g ، حداکثر شتاب زلزله مبنای طراحی نیروگاه برابر 0.18 g) ← قطع برق خارجی در اثر زلزله

۲– آب گرفتگی دیزل ژنراتورهای اضطراری در اثر سونامی



- پیشرفت حادثه در نیروگاه فوکوشیما پس از قطع تقذیه برق

- قطع تغذیه خارجی
- قطع تغذیه داخلی
- دشارژ شدن کامل باتریها
- ازدست رفتن منبع برداشت حرارت نهایی
- از دست رفتن خنک کنندگی قلب
- خشک شدن قلب و ذوب سوخت
- تولید هیدروژن و افزایش غلظت آن
- انفجار هیدروژن
- آسیب به محفظه تحت فشار راکتور
- آسیب به محفظه ایمنی
- پخش مواد رادیواکتیو در محیط

۲– گزارش خودارزیابی استرس تست در نیروگاههای اتمی

- وقوع حوادث تری مایلند، چرنوبیل و فوکوشیما

  - حادثه تری مایلند (۱۹۷۹) ← ارتقای فرهنگ ایمنی در نیروگاههای اتمی
  - حادثه چرنوبیل (۱۹۸۶) ← استقرار سازمان بهره برداران نیروگاههای اتمی (WANO) در سال ۱۹۸۹
  - حادثه فوکوشیما (۲۰۱۱) ← انجام خودارزیابی در نیروگاه تحت عنوان استرس تست

❑ گزارش خودارزیابی استرس تست نیروگاههای اتمی

- پس از وقوع حادثه فوکوشیما در سال ۲۰۱۱ اتحادیه اروپا از تمامی کشورهای عضو درخواست کرد تا ضمن **بررسی مجدد ایمنی نیروگاه های اتمی** در حال بهره‌برداری، از وجود **حاشیه های ایمنی کافی** جهت مواجه با **شرایط طبیعی حدی از قبیل زلزله و سونامی** اطمینان حاصل کنند.

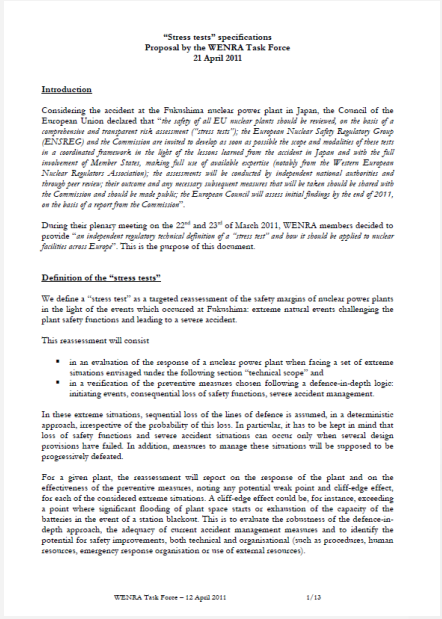
- در این راستا هدف، محدوده و محتوای انجام این فعالیت ها در قالب برنامه «**استرس تست**» تعیین شد.

- **استرس تست به معنای** انجام مجموعه فعالیت هایی در نیروگاه هسته ای به‌منظور **ارزیابی مجدد و هدفمند حاشیه های ایمنی نیروگاه** با توجه رویدادهای به‌وقوع پیوسته در نیروگاه فوکوشیما، جهت جلو گیری از به خطر افتادن کارکرد های ایمنی سیستم ها و تجهیزات نیروگاه و در نهایت جلوگیری از وقوع حادثه وخیم می باشد.

۲– گزارش خودارزیابی استرس تست در نیروگاههای اتمی

❑ گزارش خودارزیابی استرس تست نیروگاههای اتمی

- **پس از وقوع حادثه فوکوشیما در مارس ۲۰۱۱، محدوده والزامات انجام استرس تست توسط انجمن قانون گذاران هسته ای اروپای غربی (WENRA)[1] و گروه قانون گذاری ایمنی هسته ای اروپا (ENSREG)[2] تعیین و در آوریل ۲۰۱۱ ابلاغ گردید.**



"Stress tests" specifications
Proposal by the WENRA Task Force
21 April 2011

Introduction

Considering the accident at the Fukushima nuclear power plant in Japan, the Council of the European Union declared that "*the safety of all EU nuclear plants should be reviewed, on the basis of a comprehensive and transparent risk assessment ("stress tests"); the European Nuclear Safety Regulatory Group (ENSREG) and the Commission are invited to develop as soon as possible the scope and modalities of these tests in a coordinated framework in the light of the lessons learned from the accident in Japan and with the full involvement of Member States, making full use of available expertise (notably from the Western European Nuclear Regulators Association); the assessments will be conducted by independent national authorities and through peer review; their outcome and any necessary subsequent measures that will be taken should be shared with the Commission and should be made public; the European Council will assess initial findings by the end of 2011, on the basis of a report from the Commission*".

During their plenary meeting on the 22nd and 23rd of March 2011, WENRA members decided to provide "*an independent regulatory technical definition of a "stress test" and how it should be applied to nuclear facilities across Europe*". This is the purpose of this document.

Definition of the "stress tests"

We define a "stress test" as a targeted reassessment of the safety margins of nuclear power plants in the light of the events which occurred at Fukushima: extreme natural events challenging the plant safety functions and leading to a severe accident.

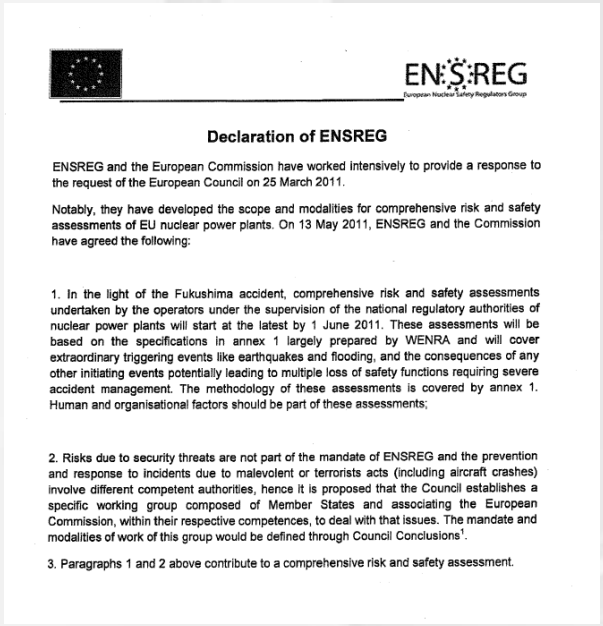
This reassessment will consist

- in an evaluation of the response of a nuclear power plant when facing a set of extreme situations envisaged under the following section "technical scope" and
- in a verification of the preventive measures chosen following a defence-in-depth logic: initiating events, consequential loss of safety functions, severe accident management.

In these extreme situations, sequential loss of the lines of defence is assumed, in a deterministic approach, irrespective of the probability of this loss. In particular, it has to be kept in mind that loss of safety functions and severe accident situations can occur only when several design provisions have failed. In addition, measures to manage these situations will be supposed to be progressively defeated.

For a given plant, the reassessment will report on the response of the plant and on the effectiveness of the preventive measures, noting any potential weak point and cliff-edge effect, for each of the considered extreme situations. A cliff-edge effect could be, for instance, exceeding a point where significant flooding of plant space starts or exhaustion of the capacity of the batteries in the event of a station blackout. This is to evaluate the robustness of the defence-in-depth approach, the adequacy of current accident management measures and to identify the potential for safety improvements, both technical and organisational (such as procedures, human resources, emergency response organisation or use of external resources).

WENRA Task Force – 12 April 2011 1/13



EN:S:REG
European Nuclear Safety Regulators Group

Declaration of ENSREG

ENSREG and the European Commission have worked intensively to provide a response to the request of the European Council on 25 March 2011.

Notably, they have developed the scope and modalities for comprehensive risk and safety assessments of EU nuclear power plants. On 13 May 2011, ENSREG and the Commission have agreed the following:

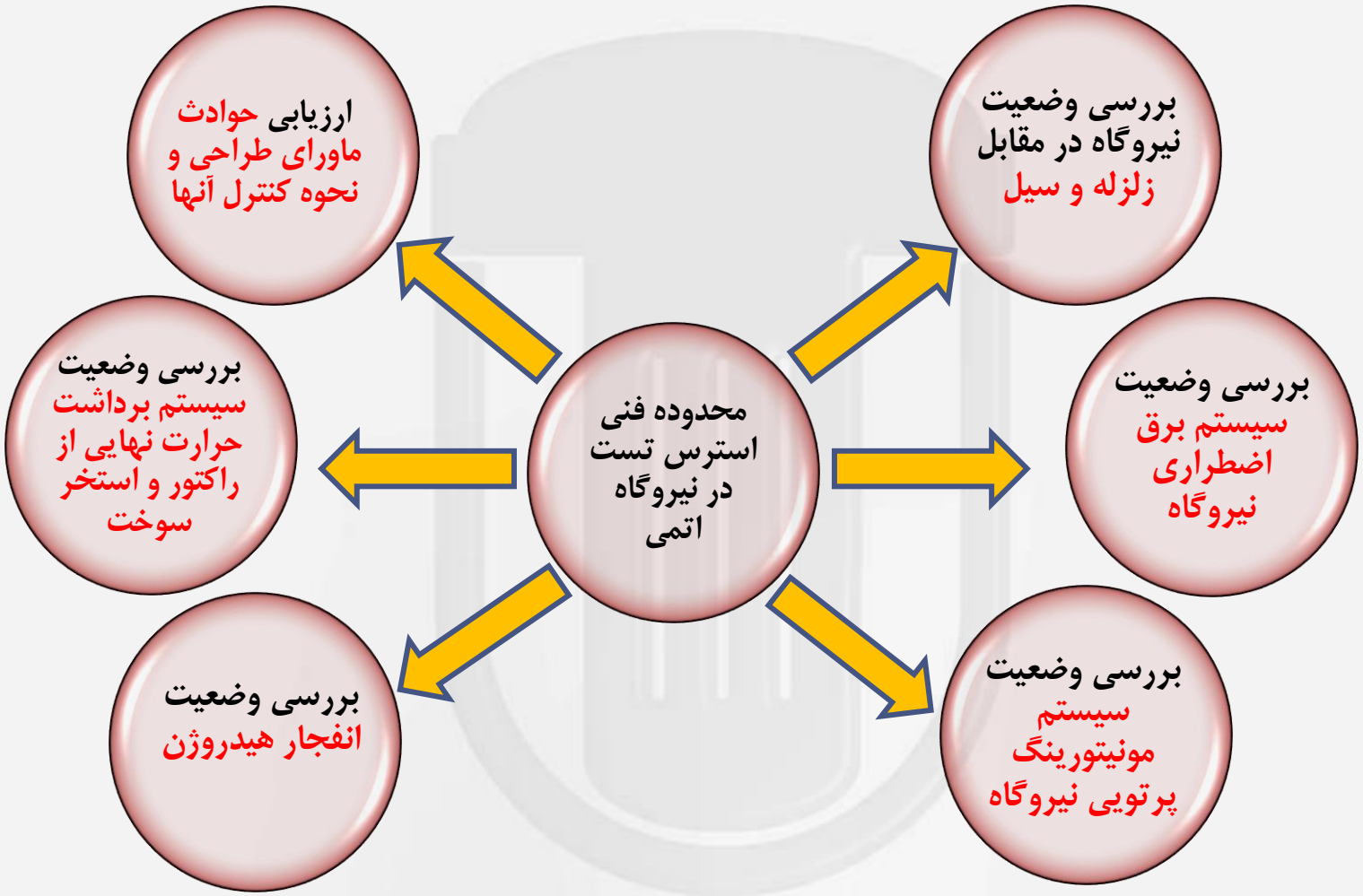
1. In the light of the Fukushima accident, comprehensive risk and safety assessments undertaken by the operators under the supervision of the national regulatory authorities of nuclear power plants will start at the latest by 1 June 2011. These assessments will be based on the specifications in annex 1 largely prepared by WENRA and will cover extraordinary triggering events like earthquakes and flooding, and the consequences of any other initiating events potentially leading to multiple loss of safety functions requiring severe accident management. The methodology of these assessments is covered by annex 1. Human and organisational factors should be part of these assessments;

2. Risks due to security threats are not part of the mandate of ENSREG and the prevention and response to incidents due to malevolent or terrorists acts (including aircraft crashes) involve different competent authorities, hence it is proposed that the Council establishes a specific working group composed of Member States and associating the European Commission, within their respective competences, to deal with that issues. The mandate and modalities of work of this group would be defined through Council Conclusions[1].

3. Paragraphs 1 and 2 above contribute to a comprehensive risk and safety assessment.

1- Western European Nuclear Regulator's Association
2- European Nuclear Safety Regulators Group

- محدوده والزامات انجام استرس تست



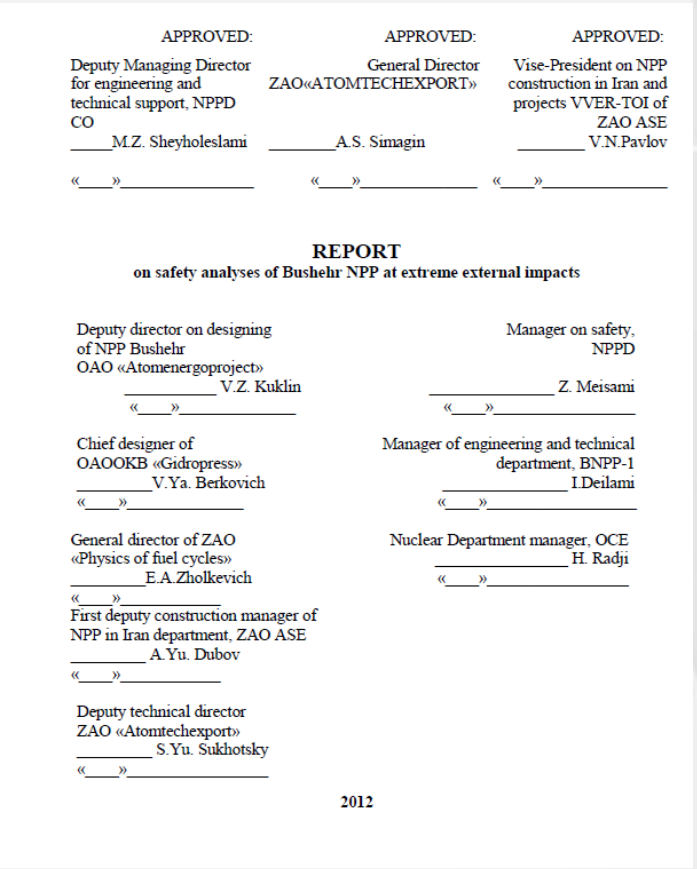
❑ برنامه ریزی جهت تهیه گزارش اولیه استرس تست واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر توسط پیمانکار روس

- ❖ در سال ۲۰۱۲ و حدود یک سال پس از وقوع حادثه در نیروگاه اتمی فوکوشیمای ژاپن، از پیمانکار روس جهت تهیه گزارش خودارزیابی استرس تست دعوت بعمل آمد.
- ❖ به مدت دو هفته تیمی در نیروگاه مستقر و ضمن بازدید از نیروگاه، سیستم ها و تجهیزات نیروگاه اتمی بوشهر با توجه به الزامات استرس (به شرح زیر) مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند.

- Western European Nuclear Regulators Association (WENRA)
- World Association of Nuclear Operators (WANO), SOER 2011-2 “Fuel damages at NPP Fukushima caused by earthquake and tsunami”.

❑ تهیه گزارش اولیه استرس تست نیروگاه اتمی بوشهر توسط پیمانکار روس

❖ در سال ۲۰۱۲پیشنویس گزارش استرس تست توسط پیمانکارتهیه شد.



APPROVED:
Deputy Managing Director for engineering and technical support, NPPD CO
_____M.Z. Sheyholeslami
«___»_____

APPROVED:
General Director ZAO«ATOMTECHEXPORT»
_____A.S. Simagin
«___»_____

APPROVED:
Vise-President on NPP construction in Iran and projects VVER-TOI of ZAO ASE
_____V.N.Pavlov
«___»_____

REPORT
on safety analyses of Bushehr NPP at extreme external impacts

Deputy director on designing of NPP Bushehr OAO «Atomenergoproject»
_____V.Z. Kuklin
«___»_____

Manager on safety, NPPD
_____Z. Meisami
«___»_____

Chief designer of OAOOKB «Gidropress»
_____V.Ya. Berkovich
«___»_____

Manager of engineering and technical department, BNPP-1
_____I.Deilami
«___»_____

General director of ZAO «Physics of fuel cycles»
_____E.A.Zholkevich
«___»_____

Nuclear Department manager, OCE
_____H. Radji
«___»_____

First deputy construction manager of NPP in Iran department, ZAO ASE
_____A.Yu. Dubov
«___»_____

Deputy technical director ZAO «Atomtechexport»
_____S.Yu. Sukhotsky
«___»_____

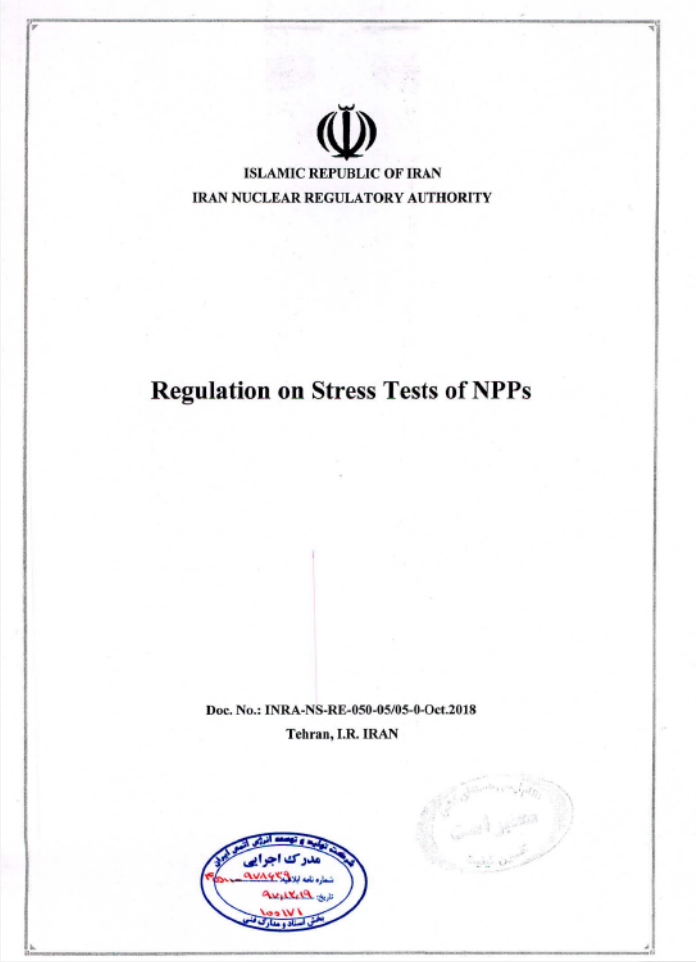
2012

❖ براساس پیشنویس گزارش استرس تست تهیه شده توسط پیمانکار روس و براساس تجربیات پیمانکار روس ناشی از اجرای برنامه استرس تست در نیروگاههای اتمی روسیه، پیشنهاد گردید دو عدد دیزل ژنراتور سیار خریداری و در سایت جهت استفاده در مواقع ضروری آماده گردید.

❖ عدم وجود و عدم ابلاغ الزامات استرس تست از طرف نظام ایمنی هسته ای کشور باعث شد تا گزارش نهایی استرس تست توسط پیمانکار روس تهیه نشود.

❖

- ابلاغ الزمات خودارزیابی استرس تست از طرف نظام ایمنی هسته ای



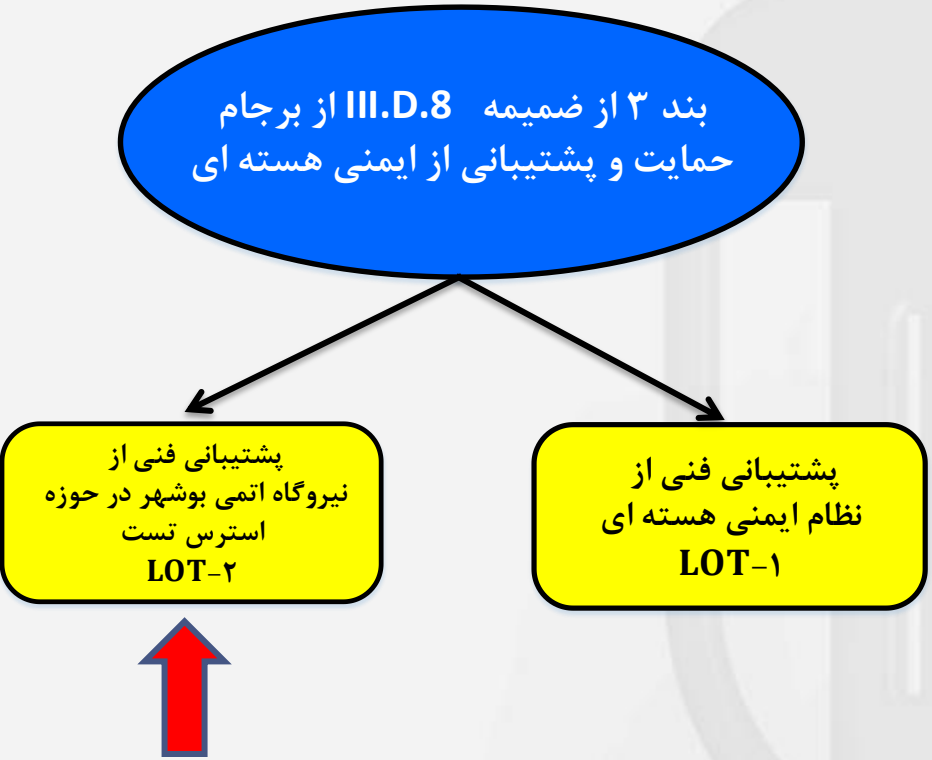
ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN
IRAN NUCLEAR REGULATORY AUTHORITY

Regulation on Stress Tests of NPPs

Doc. No.: INRA-NS-RE-050-05/05-0-Oct.2018
Tehran, I.R. IRAN

مدرک اجرایی

❑ همکاری اتحادیه اروپا در تهیه گزارش خودارزیابی استرس تست نیروگاه اتمی بوشهر



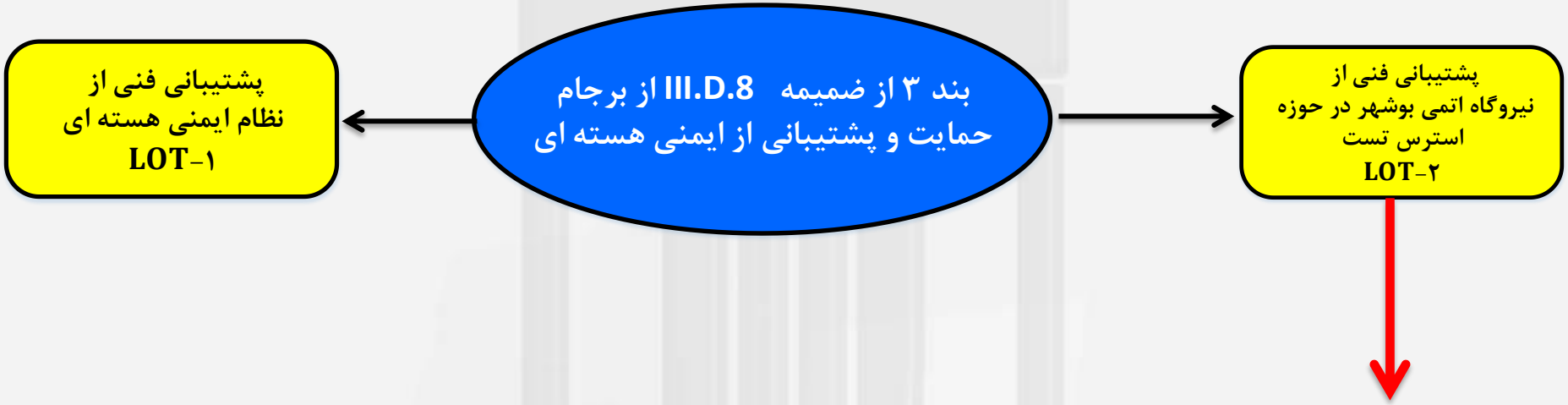
❖ بدنبال شکل گیری توافق هسته ای بین ایران و کشورهای ۵+۱ در قالب برنامه جامع اقدام مشترک (برجام)، در تاریخ ۱۴ جولای ۲۰۱۵ ، بخشی از توافق مربوط به بند ۳ از ضمیمه III.D.8 برجام با محوریت ایمنی هسته‌ای به حمایت و پشتیبانی اتحادیه اروپا از :

- ✓ نیروگاه اتمی بوشهر (Lot 2) و
- ✓ نظام ایمنی هسته ای (Lot 1)

اختصاص یافته است.

۳- همکاری با اتحادیه اروپا و شرکت UJVجهت تهیه گزارش خودارزیابی استرس نیروگاه اتمی بوشهر

- همکاری شرکت تولید وتوسعه، شرکت بهره برداری و توانا با اتحادیه اروپا و شرکت UJV (مشاور اتحادیه اروپا در این پروژه) جهت تهیه گزارش خودارزیابی استرس تست چک در سال ۲۰۱۶



- تدوین متدولوژی تفصیلی انجام خودارزیابی استرس تست؛
- مشاوره و پشتیبانی فنی در:
  - تهیه گزارش خودارزیابی استرس تست؛
  - ارائه گزارش خودارزیابی استرس تست به نظام ایمنی هسته‌ای؛
  - تهیه نسخه نهایی گزارش خودارزیابی استرس تست؛
  - پیاده‌سازی و اجرای اقدامات اصلاحی منتج از خودارزیابی استرس تست (قرارداد جدید با اتحادیه اروپا)

۳- همکاری با اتحادیه اروپا و شرکت UJVجهت تهیه گزارش خودارزیابی استرس نیروگاه اتمی بوشهر

اقدامات انجام شده در نیروگاه اتمی بوشهر بعد از حادثه فوکوشیما

ردیف	عنوان فعالیت	شرکت انجام دهنده	آخرین وضعیت آن
۱	تدوین متدولوژی تفصیلی انجام خودارزیابی استرس تست براساس الزامات ایمنی اتحادیه اروپا	UJV	به اتمام رسیده است
۲	تهیه پیشنویس گزارش خودارزیابی استرس تست	TAVANA+BNPP-1	به اتمام رسیده است
۳	ارائه گزارش خودارزیابی استرس تست به نظام ایمنی هسته‌ای	NPPD	به اتمام رسیده است
۴	تهیه نسخه نهایی گزارش خودارزیابی استرس تست براساس نقطه نظرات نظام ایمنی هسته ای	TAVAN + BNPP-1	به اتمام رسیده است
۵	تائید گزارش استرس تست نیروگاه توسط نظام ایمنی هسته ای	NPPD +NNSDD	به اتمام رسیده است
۶	پیاده‌سازی و اجرای اقدامات اصلاحی منتج از خودارزیابی استرس تست	TAVANA+ BNPP-1	در حال انجام

۳- همکاری با اتحادیه اروپا و شرکت UJVجهت تهیه گزارش خودارزیابی استرس نیروگاه اتمی بوشهر

European Union

Instrument for Nuclear Safety Cooperation

Project INSC IRN3.01/16 Lot 2

SUPPORT IN THE STRESS TEST EXERCISE

Self-Assessment Stress Test Report for Iranian NPP

"Stress Tests"

Bushehr NPP

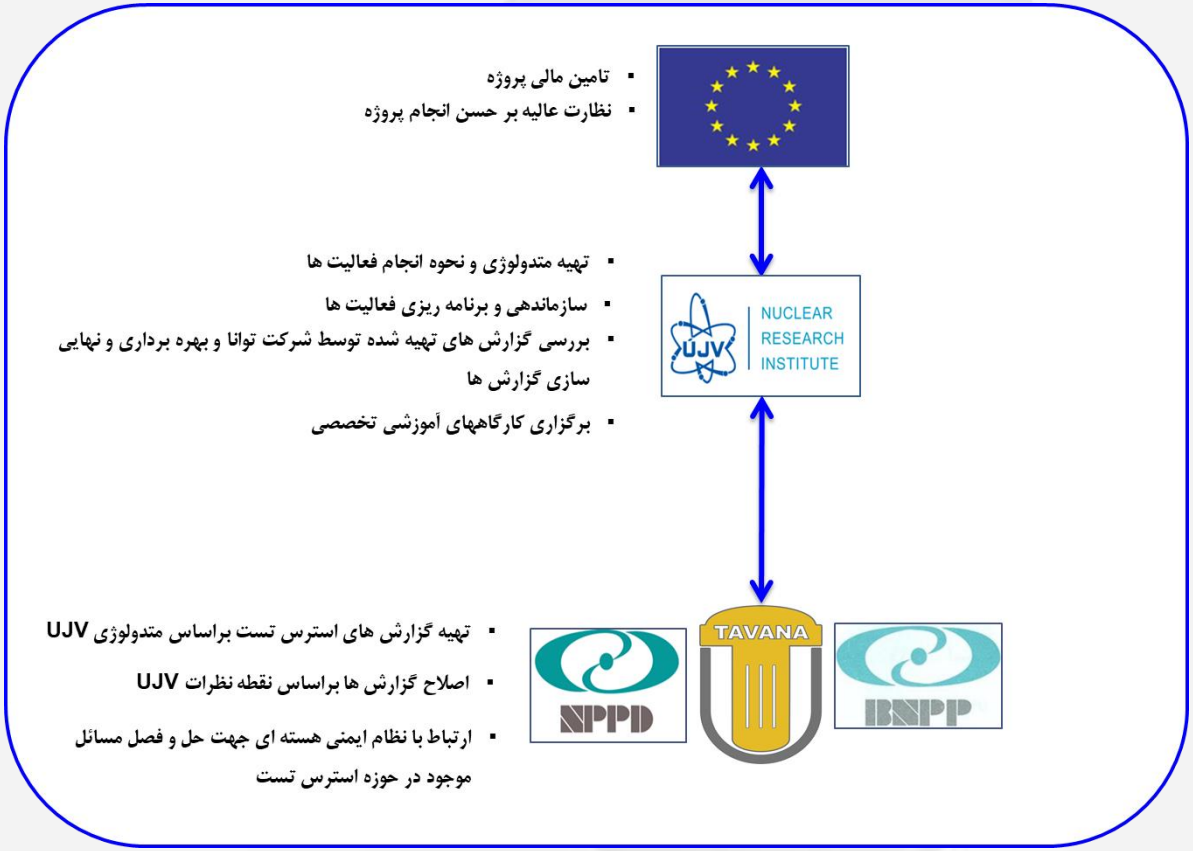
Islamic Republic of Iran

Self-Assessment Stress Test Report

NPPs Safety Development and Improvement Co.

April 2020

الگوی همکاری با اتحادیه اروپا و شرکت UJV



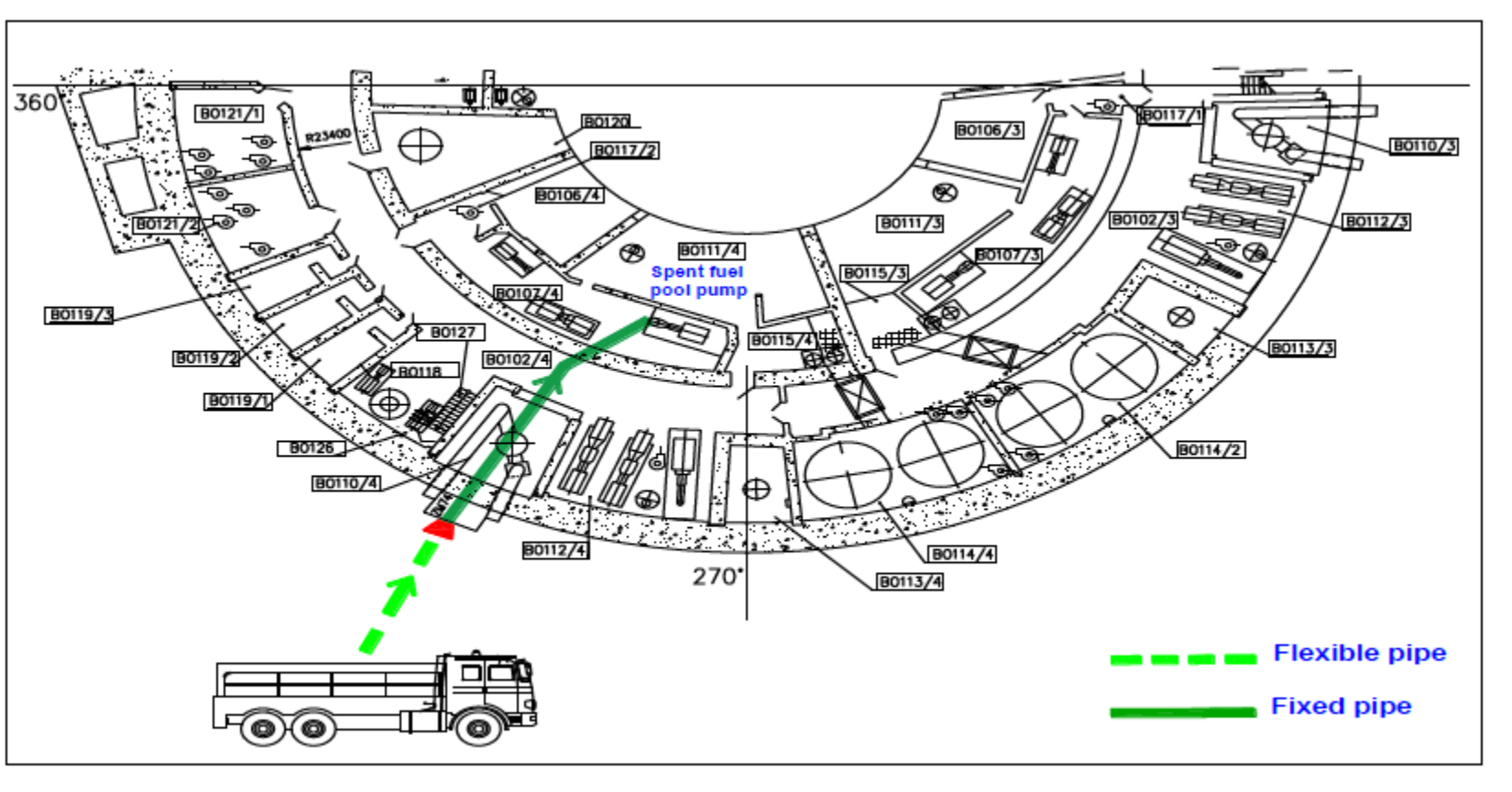
گزارش خودارزیابی استرس تست

اقدامات اصلاحی جهت ارتقای سطح ایمنی نیروگاه در مقابل حوادث مشابه با حادثه فوکوشیما

❖ نمونه ای از اقدامات اصلاحی استرس تست

- ✓ تهیه و اجرای طرح مدرنیزاسیون جهت برق رسانی به سیستم های مهم ایمنی در زمان قطع برق نیروگاه با استفاده از دیزژنراتورهای سیار
- ✓ تهیه و اجرای طرح مدرنیزاسیون جهت آبرسانی به مولد بخار، مدار اول و استخر سوخت در شرایط عدم دسترسی به منبع برداشت حرارت نهایی و با استفاده از دیزل پمپ های سیار
- ✓ نصب موانع متحرک جلوگیری از ورود سیلاب به ساختمان‌های ZK1و ZS1
- ✓ تدوین دستورالعمل‌ها و تمهیدات سازمانی مختص آبگرفتگی و شرایط وخیم آب و هوایی

نمونه ای از اقدامات اصلاحی انجام شده و درحال انجام در نیروگاه اتمی بوشهر



۵– حادثه فوکوشیما و اقدامات انجام شده در واحد های ۲ و ۳ نیروگاه اتمی بوشهر

- طراحی واحد های ۲ و ۳ نیروگاه اتمی بوشهر براساس سطوح ۵ گانه دفاع در عمق و براساس الزامات ایمنی کشور روسیه (NP-001-15)، مدارک آژانس بین المللی انرژی اتمی، همچنین با در نظر گرفتن الزامات ایمنی کشور های اتحادیه اروپاه (WNRA) صورت گرفته شده است.

- *Level 1 (Conditions of siting the NPP and prevention of infringements to normal operation)*
- *Level 2 (Prevention of DBA by normal operation systems)*
- *Level 3 (Prevention of beyond-design-basis accidents by safety systems)*
- ***Level 4 (BDBA management)***
- *Level 5 (Emergency planning)*

۵- حادثه فوکوشیما و اقدامات انجام شده در واحد های ۲ و ۳ نیروگاه اتمی بوشهر

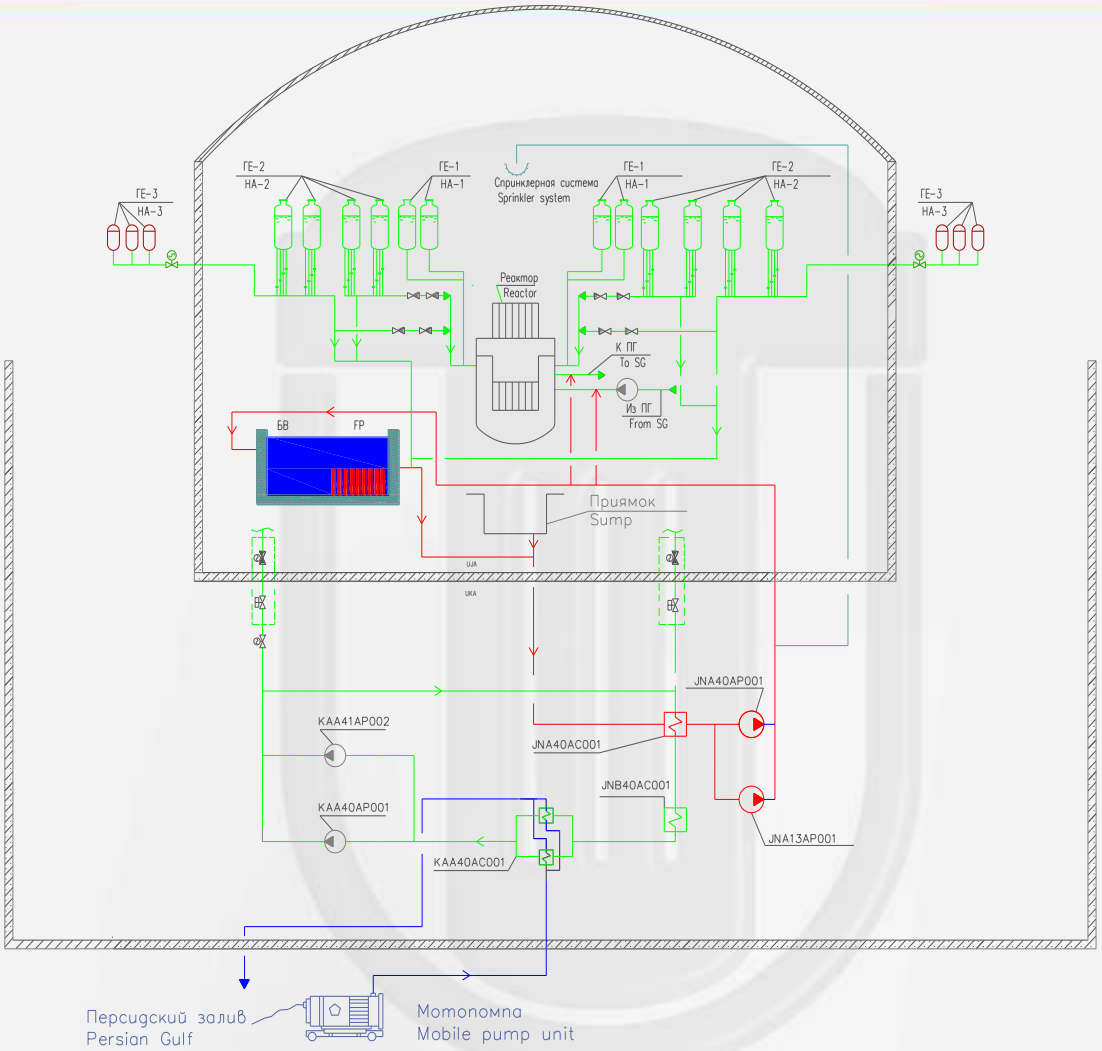
❑ در جدول زیر نحوه پوشش دهی به سطوح دفاع در عمق واحد های ۲ و ۳ نیروگاه اتمی بوشهر براساس استاندارد های کشور روسیه، آژانس و اتحادیه اروپا و مقایسه بین آنها نشان داده شده

Safety functions 1 Reactivity control 2 Heat removal from the reactor and the spent fuel pool 3Limitation of radioactiveproduct release into the environment	Levels of defense-in-depth					
	Normal operation (design-basis modes of Category 1)	Anticipated operational occurrences (design-bases modes of Category 2)	Design-base accidents (design-basis modes of Category 3 and 4)	Beyond-design-basis accidents (design-basis modes of probability less than 10^{-4})		
				Without fuel melt		With fuel melt (severe BDBA)
				Within autonomy of passive safety systems	Beyond autonomy of passive safety systems	
	Level designation as per WENRA					
	Level 1	Level 2	Level 3a	Level 3b		Level 4
	Level designation as per NP-001-15					
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4		
1	2	3	4	5	6	7
Process systems	-34% Normal operation systems. Equipment of safety systems for heat removal to ultimate sink from the RP (planned and cooldown) and the FP.	Normal operation systems including backup equipment. Equipment of safety systems for heat removal to ultimate sink from the RP (planned and cooldown) and the FP.	Active safety systems.	Passive safety systems.	**Additional engineering means for heat removal from the core and the FP** using equipment, valves and pipelines of SS train4: ✓ **Connection of an alternative intermediate circuit pump** rather than a regular pump to train 4 pipelines of the intermediate circuit system for essential loads; ✓ **Connection of a mobile pump** unit rather thana regular pump to train 4 pipelines of the service water system for essential loads; ✓ **Water supply to the reactor or sprinkler nozzles and to the FP from the emergency sump** or the FP by an alternative emergency cooldown pump of the JNA system by design train 4 pipelines of systems JNA and JMN using specially designed pipeline jumpers	✓ Hydrogen removal system (JMT) ✓ **Corium confinement system (core catcher).** **Additional engineering means for containment protection** ✓ **Connection of an alternative intermediate circuit pump** rather than a regular pump to train 4 pipelines of the intermediate circuit system for essential loads; ✓ **Connection of a mobile pump** unit rather thana regular pump to train 4 pipelines of the service water system for essential loads; ✓ **Water supply to the reactor or sprinkler nozzles and to the FP from the emergency sump** or the FP by an alternative emergency cooldown pump of the JNA system by design train 4 pipelines of systems JNA and JMN using specially designed pipeline jumpers

۵- حادثه فوکوشیما و اقدامات انجام شده در واحد های ۲ و ۳ نیروگاه اتمی بوشهر

Safety functions 1 Reactivity control 2 Heat removal from the reactor and the spent fuel pool 3Limitation of radioactiveproduct release into the environment	Levels of defense-in-depth					
	Normal operation (design-basis modes of Category 1)	Anticipated operational occurrences (design-bases modes of Category 2)	Design-bases accidents (design-basis modes of Category 3 and 4)	Beyond-design-basis accidents (design-basis modes of probability less than 10^{-6})		
				Without fuel melt		With fuel melt (severe BDBA)
				Within autonomy of passive safety systems	Beyond autonomy of passive safety systems	
	Level designation as per WENRA					
	Level 1	Level 2	Level 3a	Level 3b		Level 4
	Level designation as per NP-001-15					
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4		
1	2	3	4	5	6	7
~34% Control systems	NO I&C. Discreet control including single- and multi-step interlocks (FGC) Automatic controllers (with closed and open circuits)	NO I&C. Discreet control including ASBE, protective interlocks and protections	Safety I&C.	Diverse protection system	✓ **Remote control system**	✓ **Remote control system**
Power supply systems	Main and backup normal operation (NO) power supply	Reliable NO power supply (reliable power supply DG, two-hour storage batteries)	Emergency power supply (EPS0 of Categories 1 and 2 (power unit DG and two-hour storage batteries)	Emergency power supply for BDBA of category 1 (72-hour storage batteries)	✓ **Alternative DG with air cooling**	✓ **Alternative DG with air cooling**

۵- حادثه فوکوشیما و اقدامات انجام شده در واحد های ۲ و ۳ نیروگاه اتمی بوشهر



- ✓ براساس الزامات ابلاغ شده توسط نظام ایمنی هسته ای کشور، خودارزیابی استرس تست برای واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر انجام و گزارش مربوطه به تائید نظام ایمنی هسته ای کشور رسیده است

- ✓ براساس الزامات ابلاغ شده توسط نظام ایمنی هسته ای کشور، خودارزیابی استرس تست برای واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر انجام و گزارش مربوطه به تائید نظام ایمنی هسته ای کشور رسیده است

- ✓ در حال حاضر بخشی از اقدامات اصلاحی در واحد یکم نیروگاه اتمی بوشهر انجام و بخشی نیر در حال انجام می باشد. همچنین برنامه ریزی جهت اقدامات اصلاحی باقی مانده نیز صورت گرفته شده است.

- ✓ در طراحی واحد های ۲ و ۳ نیروگاه اتمی بوشهر الزامات مربوط به استرس تست در نظر گرفته شده است و تمهیدات لازم برای مقابله با حوادث مرتبط با حادثه فوکوشیما اندیشیده شده است

با تشکر از توجه شما