پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای

معرفی مفهوم تاب آوری
و ورود آن به فناوری هسته ای پس از حادثه فوکوشیما

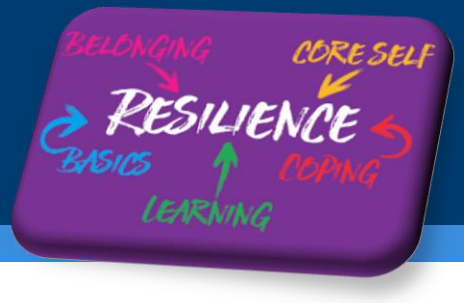
نعیم الدین متاجی کجوری
دانشگاه صنعتی شریف

اسفند ۱۴۰۲

عناوین مورد بررسی

- مقدمه
- آشنایی با مفهوم تاب آوری
- درس های فراگرفته از حادثه فوکوشیما و ورود مهندسی تاب آوری به فناوری هسته ای
- جمع بندی

آشنایی با مفهوم تاب آوری



مفهوم تاب آوری

- اصطلاح انگلیسی Resilience«تاب‌آوری» :
- از فعل لاتین resilire (جهش دادن) مشتق شده است، از re (دوباره) و salire (بالا رفتن) ساخته شده است و بر اثر ماسبق‌نگار (اثر عطف کننده به قبل) دلالت دارد.
- بر اساس فرهنگ لغت انگلیسی آکسفورد در مورد اصول تاریخی (OED 1973)، تاب آوری «عمل بازگشت یا بازگشت به عقب است». این تعریف مستقیماً با وضعیت موادی که پس از تغییر شکل به شکل اولیه خود باز می گردند، مطابقت دارد.
- بر اساس مندرجات اکثر فرهنگ لغات، تاب آوری به عنوان توانایی سیستم ها برای بازگشت به حالت اولیه پس از اختلالات شدید، بلایا یا سایر اشکال رویدادهای شدید تعریف می شود. این تعریف معمولاً برای سیستم های فیزیکی، معنوی، زیست محیطی، مهندسی، اجتماعی و سیاسی اعمال می شود.
- تاب‌آوری جامعه در برابر بلایا به عنوان توانایی واحدهای اجتماعی (به عنوان مثال، سازمان‌ها، جوامع) برای کاهش خطرات، مهار اثرات بلایا در زمان وقوع و انجام فعالیت‌های بازیابی به روش‌هایی که اختلالات اجتماعی را به حداقل رساند و رویدادهای شدید آینده را کاهش دهد، تعریف می‌شود.
-

مفهوم تاب آوری (ادامه)

- در دهه ۱۹۷۰ این اصطلاح توسط هولینگ Holling (1973) در موضوعات اکولوژیکی به کار گرفته شد:

تاب‌آوری سیستم‌های اکولوژیکی(بوم‌شناختی) معیاری برای تداوم سیستم‌ها و توانایی آن‌ها در جذب تغییرات و اختلال ها و همچنان حفظ همان روابط بین جمعیت‌ها یا متغیرهای حالت است.

و با توانایی جذب و غلبه بر اثرات اختلالات قابل توجه، غیرمنتظره و وحشیانه در سیستم های اکولوژیکی مرتبط بودم

- از آن زمان تعاریف ترکیبی نیز در بسیاری از رشته ها از جمله جغرافیا، روانشناسی، جامعه شناسی، علوم سازمانی، ارگو-روانشناسی، و غیره به کار گرفته شد. در این مجموعه از تعاریف، دو ایده اساسی غالب است: جامعه و فرآیند.

با توجه به موارد فوق:

- **تاب آوری می تواند به عنوان : ظرفیت یک سیستم برای**

جذب اغتشاشات و

سازماندهی مجدد خود

در

طول تغییرات مداوم

تعریف شود.

تاب آوری در مهندسی (۱)

- تاب آوری اصطلاحی نسبتاً جدید در قلمرو مهندسی سیستم است که فقط در بازه زمانی ۲۰۰۶ ظاهر و در سال ۲۰۱۰ رایج شد.
- کاربرد "تاب‌آوری" در سیستم‌های مهندسی و گسترش تعاریف جایگزین، منجر به سردرگمی در معنای آن شده است. (ادعا شده که بیش از ۱۰۰ تعریف از تاب آوری ظاهر شده است.)
- وزارت امنیت داخلی ایالات متحده تاب آوری را اینگونه تعریف می کند: "توانایی سیستم ها، زیرساخت ها، دولت، کسب و کار و شهروندان برای مقاومت، جذب، بهبودی یا سازگاری با یک رویداد نامطلوب که ممکن است باعث آسیب، تخریب یا از دست دادن اهمیت ملی شود." (DHS 2017)
- گروه کاری سیستم‌های تاب آور INCOSE (IRSWG) تعریفی را توصیه می‌کند که شامل اقدامات قبل از مواجهه با فاجعه/ رویداد نامطلوب است. این دیدگاه فعال نامیده می شود. تعریف توصیه شده توسط IRSWG :

تاب آوری توانایی ارائه قابلیت های مورد نیاز هنگام مواجهه با ناملایمات است.

- تعریف هولانگل که تحقیقات، تالیفات و مقالات متعددی در خصوص تاب آوری دارد::

تاب آوری را می‌توان به عنوان توانایی ذاتی یک سیستم برای تنظیم عملکرد خود قبل، در حین، یا پس از تغییرات و اختلالات تعریف کرد، به طوری که بتواند عملیات مورد نیاز را تحت شرایط مورد انتظار و یا غیرمنتظره حفظ کند (هولانگل، ۲۰۱۱).

او و همکارانش همچنین اشاره کردند که برای مهندسی تاب آوری، درک عملکرد عادی یک سیستم فنی و همچنین درک چگونگی شکست آن مهم است.

- در مطالعات مربوط به پایداری، تاب آوری نقطه مقابل آسیب پذیری است. تاب آوری یک سیستم منجر به کاهش عملکردهای آسیب پذیر، که بر روی پایداری تاثیر منفی می گذارند، می شود .

تاب آوری در مهندسی (۲)

- **تاب آوری ویژگی ای از سیستم است که به آن سیستم اجازه می دهد تا به استرس های ناگهانی پاسخ دهد و با حداقل ممکن کاهش عملکرد، به شرایط عملیاتی عادی آن برگردد.**

- **«دکر و همکاران. (۲۰۰۸): یک سیستم ارتجاعی/ تاب آور قادر است عملکرد خود را قبل، در حین، یا پس از تغییرات و اختلالات تنظیم کند، به طوری که بتواند پس از یک اختلال یا یک حادثه بزرگ، و در حضور تنش های مداوم، به عملکرد خود ادامه دهد.**

- **هایمز (۲۰۰۹): تاب آوری یک سیستم را به عنوان «توانایی یک سیستم برای مقاومت در برابر یک اختلال عمده در محدوده ای از پارامترهای تخریب قابل قبول و بازیابی در زمان مناسب و هزینه‌ها و خطرات معقول» تعریف می‌کند.**

- انجمن مهندسین مکانیک آمریکا (ASME) تاب آوری را به عنوان توانایی یک سیستم برای حفاظت از خود در برابر اغتشاشات / اختلال های بیرونی و داخلی بدون این که وقفه ای در انجام عملکرد سیستم، یا در صورتی که عملکرد سیستم قطع شد بازیابی سریع و کامل آن، تعریف کرد.

اهداف، راهبردها و ابزار دستیابی به تاب آوری

ابزار

•**دفاع در عمق** ، تفکیک و توزیع وظایف بین چندین نهاد مجاز، گسترش توانایی سیستم برای عملکرد فیزیکی یا مجازی، **تنوع و استفاده از مجموعه ای ناهمگون از فناوری ها**، منابع داده، مکان های پردازش، مکان های تجهیزات، زنجیره تامین، مسیرهای ارتباطی و غیره، **جداسازی فیزیکی یا منطقی** ، نظارت بر تحولات درونی /نحوه عملکرد سیستم به سمت مرزهای عملکرد صحیح و انجام اقدامات اصلاحی، موقعیت یابی پویا، **مدلسازی پویای رفتار سیستم**، حفظ توانایی ارائه قابلیت ها علیرغم فشار بر سیستم، تشخیص، کنترل و تصحیح خودکار یک خطای داخلی، قابلیت خاتمه اولویت بندی شده و تدریجی عملکردهای آسیب دیده در صورت بروز خطا/ خرابی قریب الوقوع، تحمل خطا: **توانایی ادامه کار با وجود /علیرغم وجود عیوب خاص**، بازیابی فوروارد، مشارکت انسانی، حداقل عملکرد، کمترین ماندگاری، حداقل امتیاز، **کمترین اشتراک گذاری**، اتصال شل و کمینه سازی وابستگی متقابل عناصر سیستم، حاشیه ضرر، **قابلیت حفظ یا بازگرداندن به حالت آماده کار در شرایط مورد نیاز**، کنترل توانایی دسترسی و استفاده از عناصر سیستم، مدولار بودن، حالت خنثی،، محدودیت تعداد نهادهای صدور مجوز، حفاظت از ارزش منافع، استاده از پیش فرض های محافظ اثربخشی، حفاظت از قابلیت علیرغم خرابی یک عنصر سیستم/ عدم توسعه خرابی، بازیابی محافظتی، تنظیم و پیکربندی مجدد ، **افزونگی فیزیکی و عملکردی**، قابلیت تعمیر و حفظ آن، جایگزینی، **بازسازی**، **توانایی انتقال به حالت ایمن**، تقسیم بندی و **تفکیک(جداسازی (منطقی یا فیزیکی)، سدسازی(فیزیکی یا مجازی) مقابل رویداد نامطلوب**، حفظ یکپارچگی اجزای سیستم، استفاده از عناصر جدید در سیستم ها، ایجاد یک نسخه مجازی به جای واقعی

راهبردها

•پیش بینی، آمادگی و حفظ اقدامات برای رسیدگی به ناملایمات پیش بینی شده یا مورد/قابل انتظار، آماده سازی، جلوگیری از تحقق / تحمیل فشار بر روی سیستم، محدودسازی انتشار آسیب در سیستم، گذراز تخریب،

•سازگاری/انعطاف/چابکی ، مدیریت پیچیدگی ها، تداوم/ پیوستگی، تفکیک و تجزیه، تحول و تکامل، یکپارچگی و عدم نقص سیستم در طول زمان،

•تجدید معماری، توزیع و بکار گیری مجددمنابع، استحکام بدون آسیب در برابر حوادث نامطلوب و پیش بینی نشده یا پیامدهای خطاهای انسانی ، آگاهی از موقعیت، قابلیت بقا، کاهش حساسیت و ناتوانی ها، تحمل پذیری آسیب، تحمل خطا، تغییر/ تبدیل: تغییر جنبه های رفتاری سیستم، درک از قابلیت های مورد نیاز، کاهش آسیب پذیری

اهداف عملیاتی

•جلوگیری / اجتناب

•مقاومت

•بازیابی

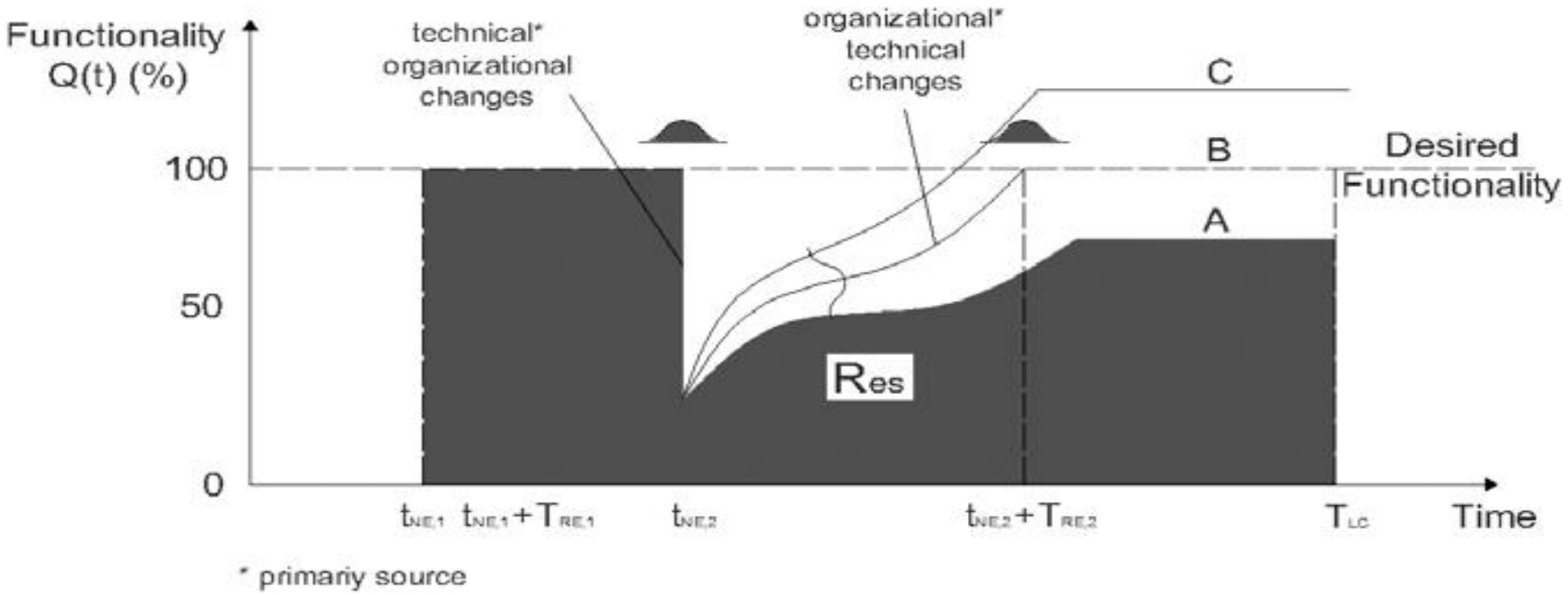
تاب آوری

چرخه سه گانه تاب آوری

تاب آوری یک سامانه اجتماعی- فنی

ویژگی ها و شاخص های چهارگانه تاب آوری (4R):
Robustness، Redundancy، Resourcefulness، Rapidity

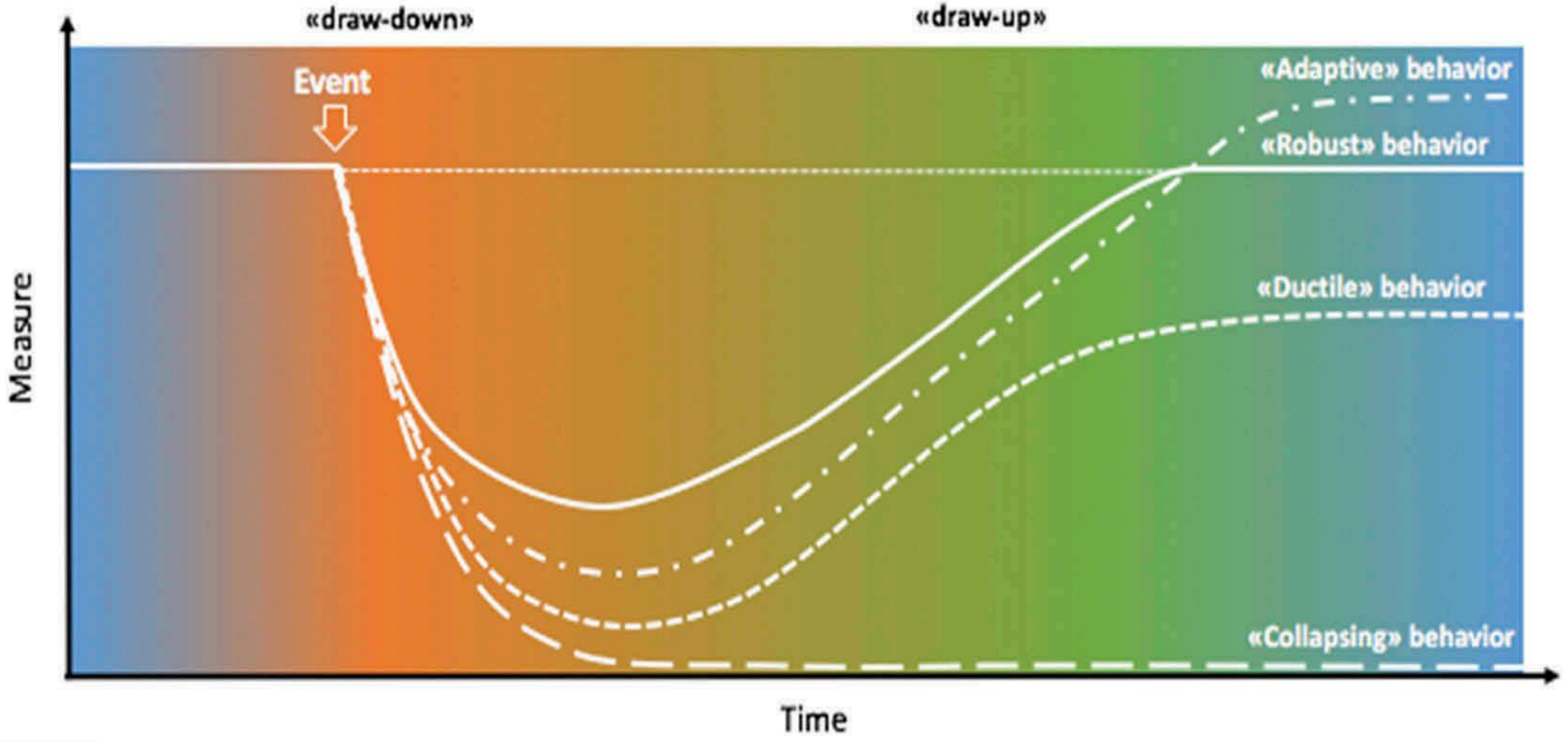
معرفی منحنی تاب آوری در برابر حوادث سخت

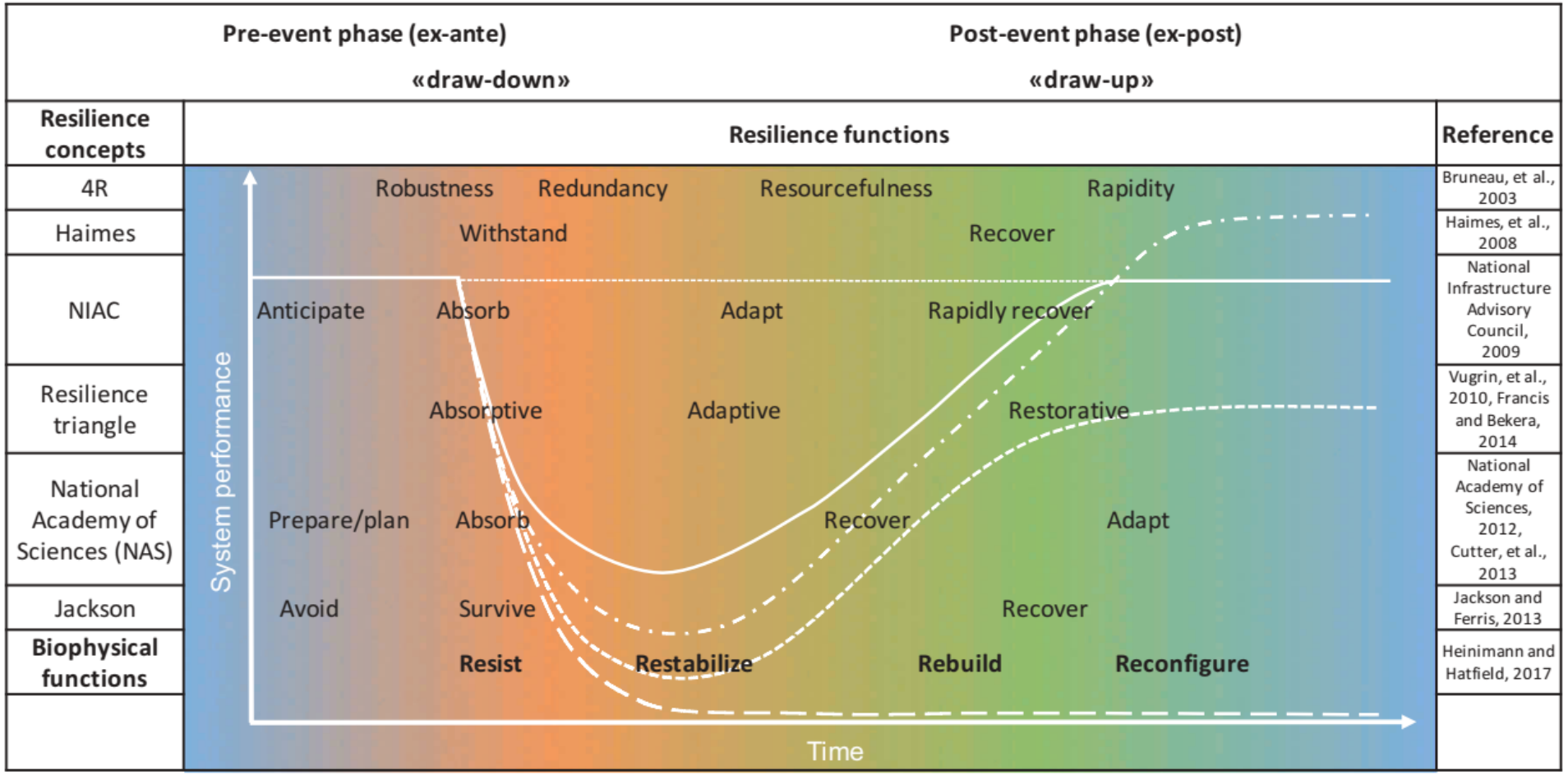


A- قابلیت عملکردی کمتر از مقدار قبل از حادثه به علت آسیب دائمی
B- قابلیت عملکردی مشابه و معادل قبل از حادثه به علت انعطاف پذیرشدن سیستم
C- قابلیت عملکردی بیش از قبل از حادثه به علت سازگارسازی سیستم

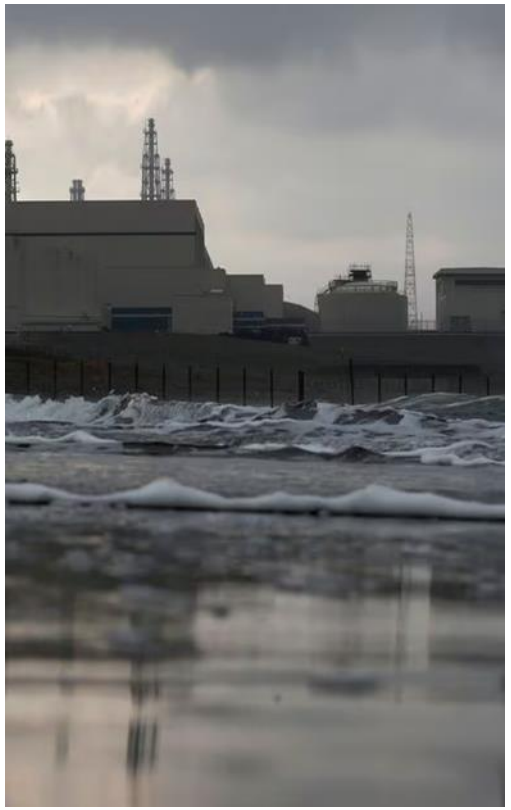
رفتار سیستم مختل شده با زمان با در نظر گرفتن تاب آوری

- رفتار سیستم براساس درجه تاب آوری




Pre-event phase (ex-ante)
«draw-down»
Post-event phase (ex-post)
«draw-up»
Resilience concepts
Resilience functions
Reference
4R
Robustness
Redundancy
Resourcefulness
Rapidity
Bruneau, et al., 2003
Haimes
Withstand
Recover
Haimes, et al., 2008
NIAC
Anticipate
Absorb
Adapt
Rapidly recover
National Infrastructure Advisory Council, 2009
Resilience triangle
Absorptive
Adaptive
Restorative
Vugrin, et al., 2010, Francis and Bekera, 2014
National Academy of Sciences (NAS)
Prepare/plan
Absorb
Recover
Adapt
National Academy of Sciences, 2012, Cutter, et al., 2013
Jackson
Avoid
Survive
Recover
Jackson and Ferris, 2013
Biophysical functions
Resist
Restabilize
Rebuild
Reconfigure
Heinimann and Hatfield, 2017
System performance
Time

درس های فراگرفته از حادثه فوکوشیما
و
ورود مهندسی تاب آوری به فناوری هسته ای



- حادثه نیروگاه هسته ای فوکوشیما دایچی، که توسط زلزله بزرگ و پس از آن امواج سونامی در شرق ژاپن رخ داد، مسائل مهمی را در مورد ساختار ایمنی سیستم های اجتماعی و فنی ارائه نمود.
- درس‌هایی که تاکنون از این حادثه آموخته شده است عمدتاً بر روی مخاطرات خارجی و تجزیه و تحلیل خرابی‌هایی که منجر به حادثه شده‌اند استنتاج شده‌اند.
- در این بخش پس از بررسی رویکرد مهندسی تاب آوری که هدف آن گسترش موفقیت‌ها در یک محیط در حال تغییر است، بر اقداماتی تمرکز دارد که از طریق تجزیه و تحلیل حادثه فوکوشیما، درس‌های جدیدی را در زمینه فناوری نیروگاه های هسته ای برای بهبود توانایی مدیریت "موارد پیش‌بینی‌نشده" ارائه می شود.

درس های آموخته مربوط به تاب آوری از حادثه فوکوشیما (۱)

- گزارش کمیسیون مستقل تحقیق، فوریه ۲۰۱۲
- فصل پایانی "درس های حادثه نیروگاه هسته ای فوکوشیما دایچی و تلاش برای تاب آوری"
- «بحران فوکوشیما تا زمانی که علل حادثه و ویرانی های ناشی از آن را مطالعه و بررسی نکنیم، از اقدامات انجام شده برای واکنش به آن درس نگیریم و اجماع ملی جدیدی را در این زمینه ایجاد نکنیم، هیچ راه حلی برای آن وجود ندارد. اینها اهداف کلیدی تحقیق ما بوده اند. مهمتر از همه، ما باید برای افزایش تاب آوری ژاپن تلاش کنیم: تاب آوری دولت ژاپن، نهادها و مردم آن.»

The Independent Investigation Commission on the Fukushima Nuclear Accident

درس های آموخته مربوط به تاب آوری از حادثه فوکوشیما (۲)

Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company

- گزارش کمیته تحقیق دولت، جولای ۲۰۱۲
- اظهارات پایانی رئیس کمیته
- "(۵) همه چیز تغییر می کند، به طور انعطاف پذیر به تغییرات پاسخ دهید"
- «...تنها راه برای جلوگیری از وقوع چنین موقعیت‌هایی این است که در نظر داشته باشید که همه مسائل تغییر خواهند کرد، توجه دقیق به مشاهدات، بروز فروتنی در برابر ایده‌های بیرونی، و در ادامه واکنش مناسب»

درس های آموخته مربوط به تاب آوری از حادثه فوکوشیما (۳)

- انجمن انرژی اتمی ژاپن، آوریل ۲۰۱٤
- توصیه ۸.۲.۲
- (۲) تقویت اقدامات در حوادث شدید
- "از آنجایی که رویدادها همیشه آنطور که انتظار می رود در شرایط حوادث شدید پیش نمی رود، توانایی واکنش انعطاف پذیر برای مقابله با این موقعیت ها همانند مدیریت آن ضروری است. به منظور تقویت و ارتقاء این توانایی، بهبود فعالیت ها باید به طور مداوم از طریق آموزش و تمرین انجام شود.

一般社団法人 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan (AESJ)

ورود مفاهیم و مباحث مرتبط با تاب آوری به فناوری هسته ای

- پس از حادثه هسته‌ای فوکوشیما، در نشست ویژه کارشناسان بین‌المللی در آژانس بین‌المللی انرژی اتمی سه توصیه پیشنهاد شد:
  - ✓ ۱) بازنگری دستورالعمل ها و استانداردهای ایمنی آژانس برای عوامل انسانی و سازمانی،
  - ✓ ۲) توسعه دستورالعمل‌هایی در خصوص تاب آوری سازمانی که منعکس‌کننده آخرین پیشرفت‌های پژوهشی در خصوص موضوع باشد،
  - ✓ ۳) توسعه روشی برای ارزیابی عوامل انسانی و سازمانی برای استرس تست.

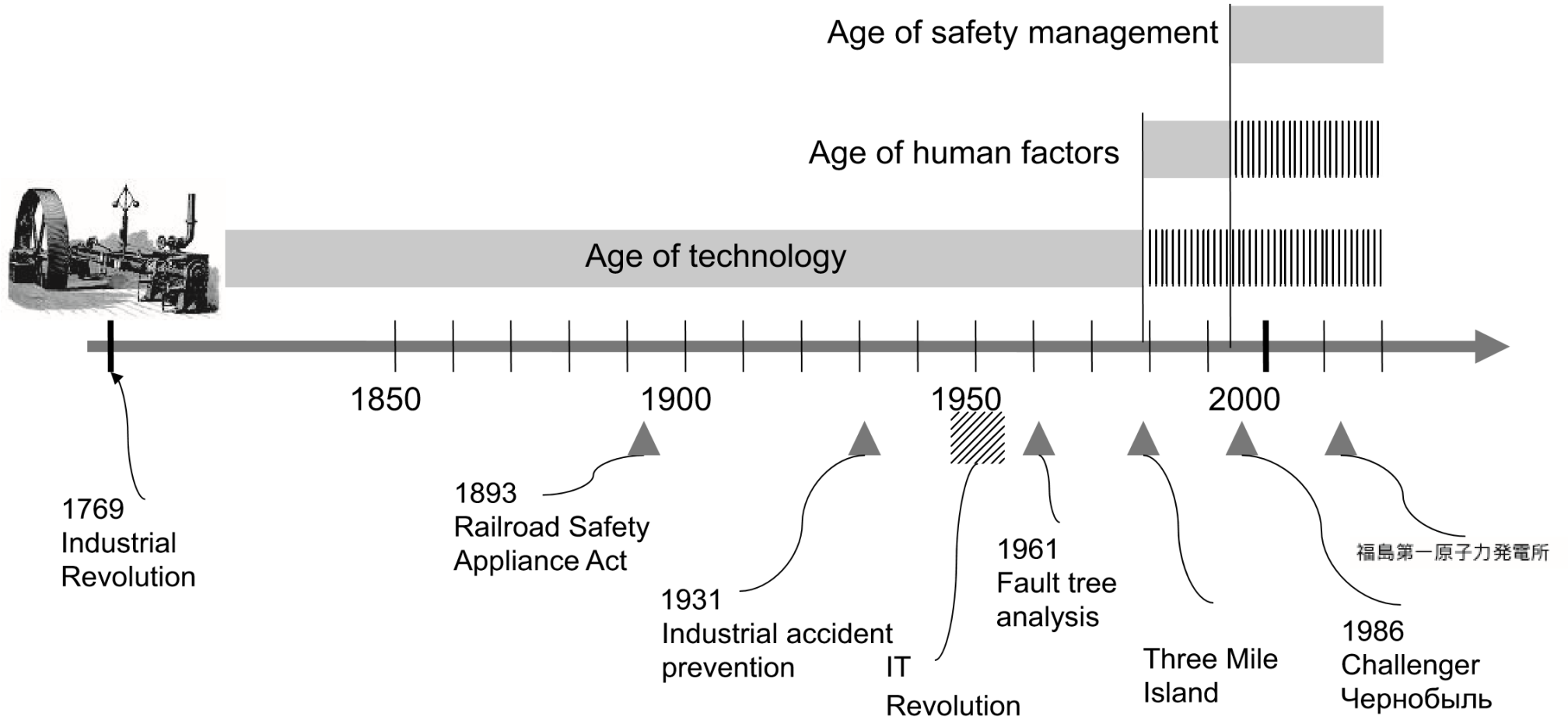
- گزارش نشست کارشناسان بین المللی در موضوعات نیروی انسانی و سازمانی در آژانس بین المللی انرژی اتمی در سال ۲۰۱۳ ضرورت تغییر الگوی بررسی و تجزیه و تحلیل ایمنی در نیروگاه های هسته ای را مورد تاکید قرار داد. این گزارش یک رویکرد سیستمی را برای پرداختن به ایمنی کل سیستم با در نظر گرفتن تعاملات پویا در درون و بین همه عوامل مرتبط سیستم، از جمله:
  - ✓ عوامل فردی (مانند دانش، نگرش، تصمیم‌ها، اقدامات)؛
  - ✓ عوامل فنی (مثل: فن آوری، ابزار، تجهیزات)؛ و
  - ✓ عوامل سازمانی (به عنوان نمونه: سیستم مدیریت، ساختار سازمانی، حاکمیت، منابع).

  را از طریق آژانس بین المللی به جامعه جهانی توصیه کرد.

ورود مفاهیم جدید در مدیریت ایمنی هسته ای

- مفاهیم جدیدی در ایمنی هسته ای مطرح شدند:
- تاب آوری
- ایمنی نوع II

رویکردهای ایمنی – سیر تحول تاریخی



ایمنی I و ایمنی II

- در تعریف کلاسیک و متعارف (سنتی) ایمنی :

«حالت ایمن بودن به مفهوم وجود شرایط /موقعیت های مصون ماندن از آسیب یا سایر پیامدهای نامطلوب است»

- در این مفهوم **Safety-I**، افزایش ایمنی به معنای کاهش تعداد خرابی ها از طریق اقدامات پیشگیرانه مانند الزامات/سیاست ها/ طراحی های سختگیرانه، قواعد و مقررات و قوانین بیشتر و محدودیت ها و قیود اضافی است.
- در **Safety-I**، تلاش‌ها برای بهبود و ارتقاء ایمنی عمدتاً بر مواردی متمرکز است که به خطا می روند/ منجر به حادثه می شوند یا ممکن است به خطا بروند.
- ایمنی در این رویکرد به طور غیرمستقیم با عدم وجود (منفی) سنجیده می شود:

«ایمنی زمانی بالاست که تعداد رویدادهای منفی کم باشد و بالعکس.»

در این رویکرد با تمرکز بر موارد منفی سعی می شود تا انتقال یک سازمان از حالت عادی عملکردی به حالت غیرعادی، را با استفاده از موانع، اتوماسیون، افزونگی و غیره مسدود کرد. بنابراین تلاش های ایمنی تا حد زیادی کاهش تعداد حوادث برای کاهش تعداد وقوع آن است وتعداد کمتر حوادث معادل با پیشرفت در ایمنی تلقی می شود.

ایمنی I و ایمنی II

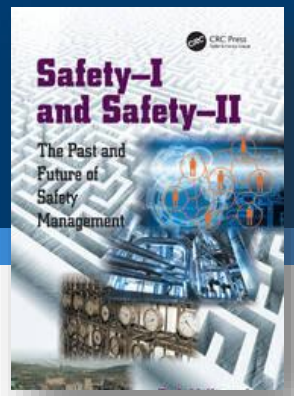
- در **Safety-I**، اصل مدیریت ایمنی واکنشی است:
  - «تغییرات زمانی ضروری است که یک رویداد منفی رخ داده باشد یا زمانی که چیزی به عنوان یک خطر غیرقابل قبول تلقی شود».
- حوادث ناشی از نقص و خرابی است.
- رابطه بین علت (مثلاً تصمیمات ناکافی یک اپراتور) و معلول (مثلاً وقوع یک حادثه) خطی و بدون مشکل در نظر گرفته می شود.
- بررسی‌ها باید علل و عوامل مؤثر وقوع حوادث را آشکار کنند و به عقب‌تر از رویداد منفی استدلال کنند. این اغلب به معنای شناسایی اجزای فنی و انسانی است که در وظیفه / عملکردشان در انجام کارشکست خورده اند.
- توالی وقایعی که منجر به حادثه می شود در زمان ردیابی و دنبال می شود تا زمانی که یک علت اصلی (قابل قبول) پیدا شود (یا بازسازی /ساخته شود).

ایمنی I و ایمنی II

- با این حال:

✓ مدیریت ایمنی و ارزیابی مبتنی بر این برداشت، ممکن است برای سیستم های بسیار پیچیده مانند نیروگاه های هسته ای قابل اجرا نباشد.

✓ آنها ممکن است توانایی افرادی را که در سیستم بسیار پیچیده کار می کنند برای انطباق شان با شرایط سخت و غیرعادی محدود کنند، در نتیجه ناخواسته یک سیستم شکننده تر و با انعطاف پذیری کمتر ایجاد می کنند .



ایمنی I و ایمنی II

- **Safety-II** یک دیدگاه جایگزین و مکمل از ایمنی ارائه می دهد که مفروضات رایج را زیر سوال می برد.
- همانطور که ذکر شد، **Safety-I** یک سیستم را در صورت عدم وجود رویدادهای منفی ایمن می داند. **Safety-II** این فرض را به عنوان یک نتیجه گیری معتبر و منطقی به چالش می کشد.
- اشاره به ایمنی به عنوان فقدان موارد منفی به معنای تمرکز بر عدم ایمنی، بر ناایمن بودن است.

در نتیجه، **Safety-II** :

«ایمنی را به عنوان وجود موارد مثبت، (مثلا در حوزه نیروی انسانی توانایی‌ها، ظرفیت‌ها و شایستگی‌های افراد که باعث می‌شود کارها درست پیش بروند) تعریف می‌کند. از این رو، براساس این رویکرد ایمنی زمانی وجود دارد که تا حد امکان بسیاری از چیزها درست پیش بروند».

- به واسطه تمرکز بر روی **Safety-I** و بررسی خطاها و حوادث امروزه مفاهیم و مدل‌های مختلفی برای اندازه‌گیری و تعیین اینکه چه چیزی اشتباه می‌شود در دسترس است (هم در زمینه تجهیزات و سیستم ها و هم در زمینه نیروی انسانی و سازمان ها)ولی برعکس، روش‌های کمی برای شناسایی وجود نکات مثبت و اینکه چرا کارها معمولاً درست پیش می‌روند وجود دارد.

ایمنی I و ایمنی II

- Safety-II نگرش غالب نسبت به انسان ها و سازمان ها را به چالش می کشد. انسان ها به عنوان یک منبع ارزشمند و ضروری برای انعطاف پذیری و تاب آوری یک سازمان برای موفقیت در نظر گرفته می شوند. کارکنان راه حلی برای تحت کنترل در آوردن شرایط هستند زیرا آنها از جزئیات نحوه انجام کار آگاه هستند. فقط آنها می دانند که چگونه در زیر فشار زمان، ابزارهای ناکافی، طراحی های ناقص سیستم، و ... دقیق و کارآمد کار کنند و با شرایط مقابله کنند.
- برای موفقیت کار، افراد باید دائماً عملکرد خود را با شرایط محلی و واقعی تطبیق داده و تنظیم کنند.
- در رویکرد Safety-II بر اهمیت مشارکت کارکنان در برنامه ریزی و بهبود فرآیندهای کاری تاکید می شود.
- مدیریت باید شناسایی کند که: کارکنان کجا و چرا از رویه های مشخص شده برای انجام کار منحرف می شوند. تفاوت بین کار به عنوان برنامه ریزی شده و کار به عنوان انجام شده باید شناسایی و حل شود.

ایمنی I و ایمنی II

- در Safety-II، اصل مدیریت ایمنی "ایمنی فعال" است:

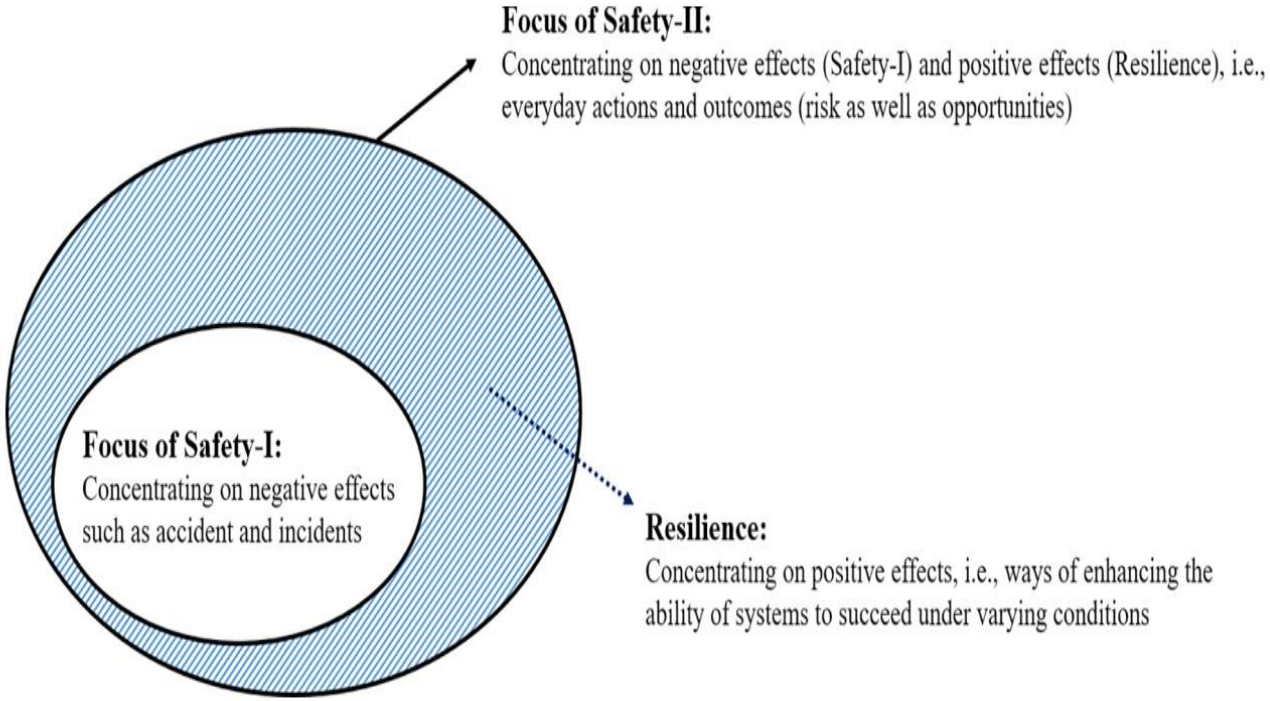
«تلاش مستمر برای پیش‌بینی تحولات و رویدادها در آینده نامشخص»

با این حال، تلاش های ایمنی بسیار فراتر از ارزیابی خطرات قابل مشاهده و محاسبه احتمالات است. مسیرها به سوی نتایج غیرمحتمل و غیرقابل تصور بررسی و مورد بحث قرار می گیرند.

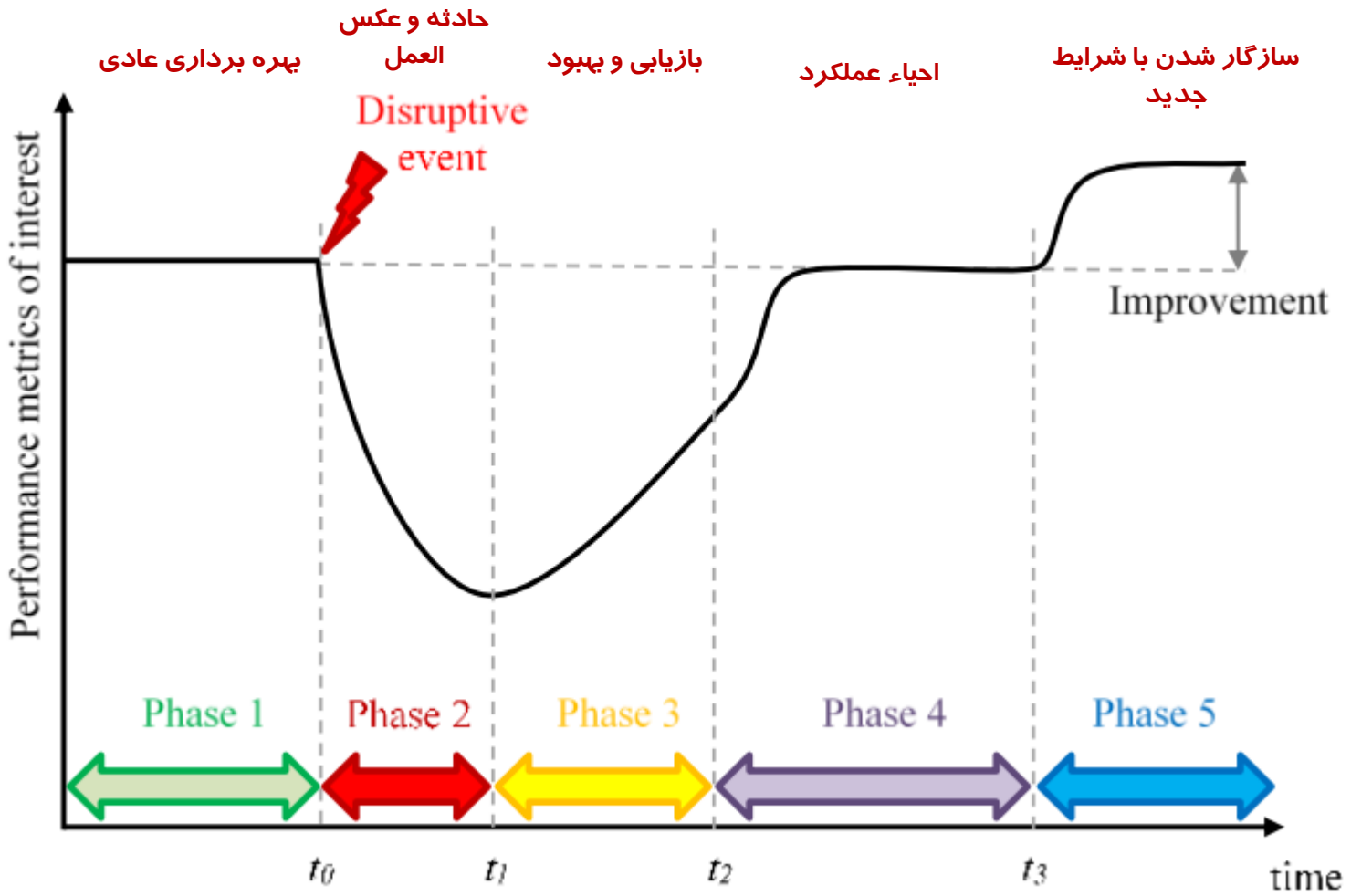
در این رویکرد:

- ✓ صداهای ناچیز شنیده می شود/ ناهنجاری های ناچیز، در نظر گرفته می شوند، صرف نظر از اینکه نگرانی های مردم در آن زمان چقدر کوچک یا به ظاهر بی ربط به نظر می رسد.
- ✓ تلاش های ایمنی حتی زمانی که رویدادهای نامطلوب وجود ندارد، انجام می شود :
  - تلاش های ایمنی همواره حفظ می شودو تداوم می یابد.
  - بحث در مورد ایمنی و خطرات حتی زمانی که همه چیز ایمن به نظر می رسد زنده نگه داشته می شود.

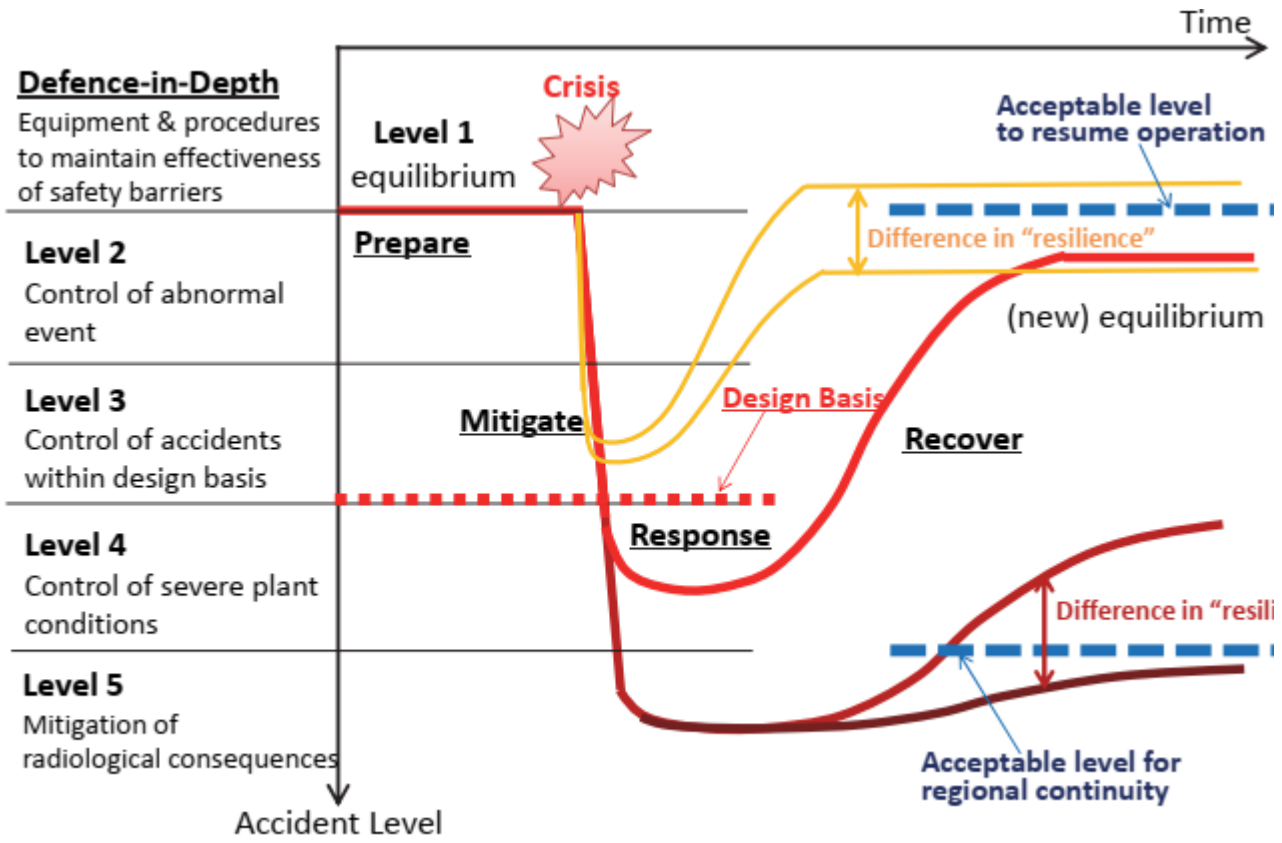
ایمنی I و ایمنی II



رفتار یک سیستم تاب آور



ارتباط تاب آوری و دفاع در عمق



ارتباط تاب آوری و دفاع در عمق

از دیدگاه مهندسی ایمنی هسته‌ای، تاب‌آوری:

با گسترش دامنه مهندسی ایمنی هسته‌ای دفاع در عمق را

از صرفاً پیشگیری از حوادث و کاهش پیامدها

به

پاسخگویی به حوادث و بازیابی از حوادث در بلند مدت گسترش می‌دهد.

جمع بندی

Conclusion

جمع بندی

- بسیاری از گزارش‌های تحقیقاتی در مورد حادثه فوکوشیما در ژاپن بر اهمیت «تاب‌آوری» در درس‌های آموخته شده تأکید می‌کنند.
- اقدامات ایمنی بر اساس درس های آموخته از حادثه فوکوشیما به صورت سخت افزاری و نرم افزاری (از جمله مدیریت و آموزش) بسیار بهبود یافته است.
- با این حال رویدادهای غیرمنتظره همچنان ممکن است منجر به وضعیت های فاجعه باری شوند که در حوادثی مانند تری مایل ایلند، چرنوبیل و فوکوشیما رخ داده است.
- گرچه سطح ایمنی بر اساس درس های آموخته شده از حوادث بسیار افزایش یافته است، اما همچنان رویدادهای غیرمنتظره با احتمال بسیار کم، ممکن است منجر به وضعیت فاجعه بار شودبا ورود مفاهیم جدید و رویکرد جدید(تاب آوری و Safety-II) از سایر علوم و فناوری ها به فناوری هسته ای و تغییر رویکرد مدیریت ایمنی به رویکردی جامع نگر (اعم از سیستم ها و تجهیزات، نیروی انسانی و سازمان) و مبتنی بر مفاهیم اخیر، انتظار می رود که با رویداد غیرمنتظره ای که احتمال بسیار کم داشته اما پیامدهای بسیار بالایی دارد، مقابله کرده و از بروز فجایع جلوگیری گردد و انتظار می رود که کاربرد مهندسی تاب آوری بتواند با شرایط مزبور مقابله نماید.

مراجع

1. Resilience: A New Paradigm of Nuclear Safety, From Accident Mitigation to Resilient Society Facing Extreme Situations, springer 2017, Joonhong Ahn, Franck Guarnieri, Kazuo Furuta

2. IAEA Report on human and organizational factors in nuclear safety in the light of the accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant , International Expert Meeting, VIENNA, 21–24 MAY 2013

3. .Framework for analytical quantification of disaster resilience, Gian Paolo Cimellaroa,*, Andrei M. Reinhornb, Michel Bruneau, Engineering Structures 32 (2010) 3639–3649

4. Safety–I and Safety–II, The Past and Future of Safety Management, ERIk HollnAGEl, 2014, *University of Southern Denmark, Ashgate publishing*

5. Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O' Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka,M., Tierney, K., Wallace, W. A. and von Winterfeldt, D. (2003), 'A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities', *Earthquake Spectra* **19**(4), 733 – 752.

6. A review on resilience assessment of energy systems Patrick Gasser, Peter Lustenberger, Marco Cinelli, Wansub Kim, Matteo Spada, Peter Burgherr, Stefan Hirschberg, Božidar Stojadinovic & Tian Yin Sun, 2019, Taylor and Francis pub.

7. Development of a quantitative resilience model for nuclear power plants Ji Tae Kim a, Jooyoung Park , Jonghyun Kim , Poong Hyun Seong Annals of Nuclear Energy 122 (2018) 175–184

8. Nuclear power, resilience, and energy security under a vulnerability-based approach, Shoki Kosai, Hironobu Unesaki, Cleaner Energy Systems 7 (2024) 100107

مراجع

9. Development of Resilience Evaluation Method for Nuclear Power Plant (Part 4: Concept of System Safety on Operating Nuclear Power Plant), E-Journal of Advanced Maintenance Vol.8 No.4 (2017) 57-65 Japan Society of Maintenology

10. Resilience in the context of Nuclear safety engineering Rundong Yan, Silvia Tolo, Sarah Dunnett, John Andrews, Edoardo Patelli, Conference Paper · January 2020, DOI: 10.1109/RAMS48030.2020.9153717

11. From Safety-I to Safety-II: A White Paper Erik Hollnagel, Robert L Wears, Jeffrey Braithwaite, 2015

12. Modeling Safety-II based on unexpected reactor trips Jooyoung Park, Ji-tae Kim, Sungheon Lee, Jonghyun Kim, Annals of Nuclear Energy 115 (2018), 280–293

13. A framework for defining and measuring Resilience at the community Scale: The peoples Resilience Framework, Chris S. Renschler, Amy E. Fraizer, Lucy A. Arendt, Gian-Paolo Cimellaro, Andrei M. Reinhorn, and Michel Bruneau.

14. System Resilience, John Brtis, Scott Jackson, ken *Cureton*

15. A Review of Definitions and Measures of System Resilience Seyedmohsen Hosseini, Kash Barker, Jose E. Ramirez-Marquez

سپاس از حسن
توجه شما