تأثیرات حادثه هسته‌ای فوکوشیما

بررسی موارد فنی و روند توسعه انرژی هسته‌ای در جهان

عناوین مورد بررسی

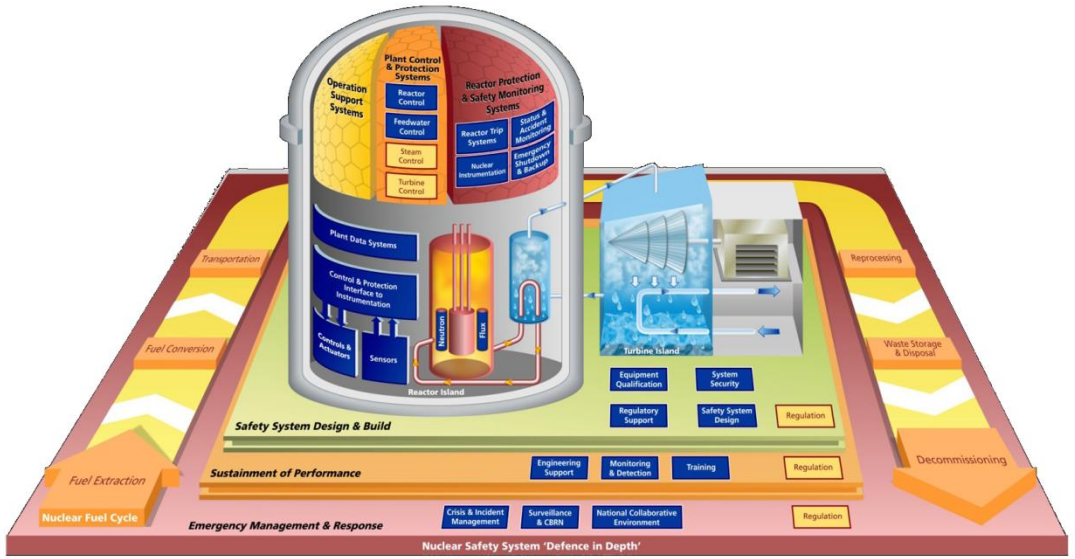
- مقدمه
- برخی از اقدامات در پرتو درس های حادثه فوکوشیما
- تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در جهان
- پیش بینی توسعه انرژی هسته ای
- جمع بندی

مقدمه

- حادثه فوکوشیما دایچی در سال ۲۰۱۱ یک شوک شدید بر پیکر صنعت برق هسته ای وارد کرد و به میزان اعتماد مردم به ایمنی این تاسیسات آسیب جدی زد.
- اگرچه سونامی در این ابعاد برای هزاران سال در سواحل ژاپن رخ نداده بود و مهندسین طراح نیروگاه نیز به هیچ روی وقوع این شدت از آنرا محتمل و معقول نمی دانستند ولی افکار عمومی ژاپن و نیز جامعه بین المللی توجیهات ذکر شده را نپذیرفتند و خواستار بازبینی در سطح ایمنی تاسیسات هسته ای موجود و آتی در سراسر جهان شدند.
- بویژه در کنار الزام برای جلوگیری از تکرار این گونه حوادث در نیروگاه های هسته ای خواست عمومی ارتقاء هوشیاری صنعت هسته ای نسبت به تکرار وقوع حوادث و ارتقاء آمادگی برای شرایط اضطراری و بهبود دستورالعمل های مدیریت حادثه شدند.

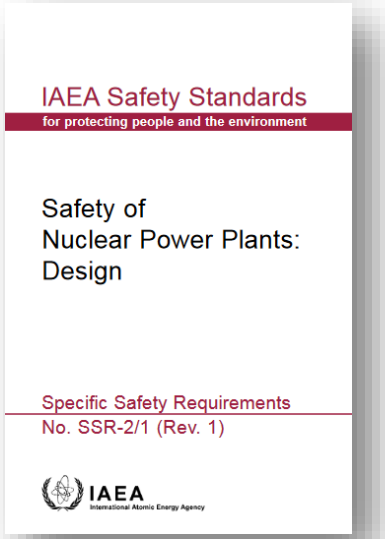
برخی اقدامات در پرتو درس های حادثه فوکوشیما

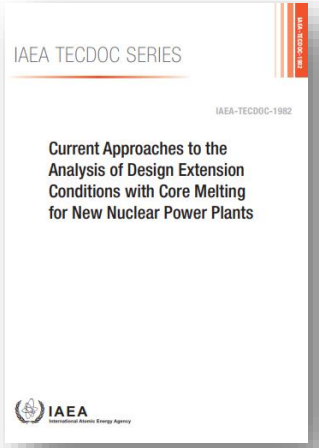
- ✓ بازنگری در مدیریت حوادث
- ✓ بازنگری در الزامات و مقررات
- ✓ بازنگری در طرح های رآکتورهای موجود و در حال توسعه
- ✓ استرس تست
- ✓ بازنگری در توسعه و استفاده از انرژی هسته ای
- ✓ و موارد دیگر



اقدامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)

بازنگری در استانداردها و راهنماهای ایمنی رآکتورهای هسته ای





Operational states		Accident conditions		
Normal operation (NO)	Anticipated operational occurrences (AOO)	Design basis accidents (DBA)	Design extension conditions (DEC)	
			without significant fuel degradation	with core melt

اقدامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)

IAEA Report on Assessment and Prognosis in Response to a Nuclear or Radiological Emergency ...

Action Plan on Nuclear Safety Series

English IAEA/IEM/IX

IAEA Report on Strengthening Research and Development Effectiveness in the Light of the Accident at the Fukushima Daiich ...

Action Plan on Nuclear Safety Series

English IAEA/IEM/8

IAEA Report on Capacity Building for Nuclear Safety ...

Action Plan on Nuclear Safety Series

English IAEA/REP/CAP

IAEA Report on Severe Accident Management in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant ...

Action Plan on Nuclear Safety Series

English IAEA/IEM/7

IAEA Report on Human and Organizational Factors in Nuclear Safety in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi ...

Action Plan on Nuclear Safety Series

English IAEA/IEM/5

IAEA Report on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident ...

Action Plan on Nuclear Safety Series

English IAEA/IEM/4

اقدامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)

حادثه فوکوشیما بازیادآوری می‌کند که حوادث شدید باید به طور جامع در نظریه دفاع در عمق لحاظ شوند:

- ✓ نکات مهم از زمان حوادث چرنوبیل و تری مایل آیلند
- ✓ تدوین راه‌حل‌هایی برای حفظ یکپارچگی و کارایی محفظه ایمنی رآکتور در شرایط حوادث شدید
- ✓ بازنگری در الزامات دفاع در عمق: INSAG 10، SSR-2-1، WENRA

اصلاحات طراحی و تحقیق و توسعه‌ی مداوم ضروری است:

- ✓ همگرایی مطلوب در خصوص خطر انفجار بخارآب و حفظ محفظه تحت فشار
- ✓ بازارزیابی‌های دوره‌ای ایمنی

برخی مباحث جدید با درس گرفتن از حادثه مطرح شدند:

- ✓ استخر سوخت‌های مصرفی، چند واحد نیروگاهی در کنار هم، ایزوله‌سازی، هرج و مرج در سایت
- ✓ مخاطرات فراتر از طرح

اقدامات اتحادیه اروپا

نتیجه‌گیری‌های اتحادیه اروپا

آنالیز حادثه فوکوشیما مواردی تقریباً ریشه‌ای و فنی را مشخص ساخت:

- ✓ لحاظ نشدن پدیده‌های طبیعی با ماهیت بحرانی
- ✓ طراحی های اشتباه و نادرست
- ✓ سیستم‌های پشتیبان ناکافی
- ✓ عدم اعمال اصلاحات ایمنی در راکتورهای در حال کار
- ✓ خطای انسانی
- ✓ سردرگمی در پاسخ به حوادث شدید و تبادل ضعیف اطلاعات

احکام

با توجه به حادثه فوکوشیما و بر اساس حکم صادره از شورای اروپا در نشست مورخ ۲۴ و ۲۵ مارس ۲۰۱۱، شورای اروپا (EC) به همراه گروه ناظران ایمنی هسته‌ای اروپا (ENSREG) برنامه بازارزیابی جامع و گسترده ایمنی و مخاطرات کلیه نیروگاه‌های هسته‌ای قدرت موجود در اتحادیه اروپا را که استرس تست نامیده می‌شود شروع نمودند.

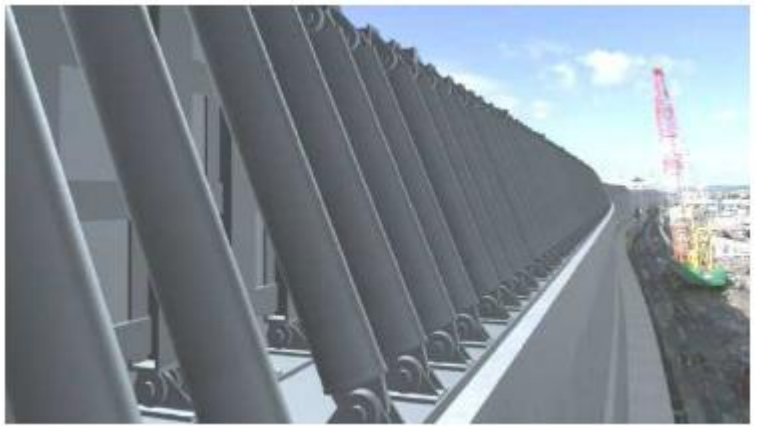
شورای اروپا در درخواست خود تعیین نمود که استرس تست‌ها باید ابتدا در سطح ملی انجام و سپس با بررسی و ارزیابی دقیق اروپایی تکمیل شوند.

افزایش قابل توجه اقدامات در برابر سونامی

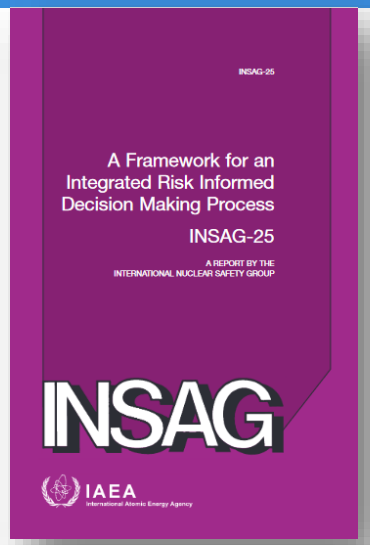
- استانداردها "طراحی با در نظر گرفتن سونامی" را به عنوان یک سونامی فراتر از بزرگترین سونامی ثبت شده، تعریف می کنند.
- براساس این استانداردها برای مقابله با چنین پدیده ای به اقدامات حفاظتی همانند دیوارهای دریایی نیاز دارند.
- براساس این استانداردها برای ساختارها، تجهیزات و سیستم ها به اقدامات حفاظتی در برابر سونامی نیاز می باشد، تا اطمینان حاصل شود که همچنان از آسیب آنها در برابر طغیان آب حتی در هنگام وقوع زلزله نیز جلوگیری می شود.

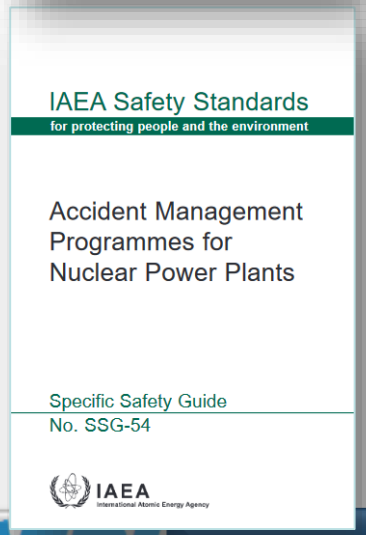
نصب درب های ضد آب برای جلوگیری از آبگرفتگی ساختمان ها

نصب دیوار دریایی برای جلوگیری از آبگرفتگی سایت



پشتیبانی تحلیلی در مدیریت حادثه

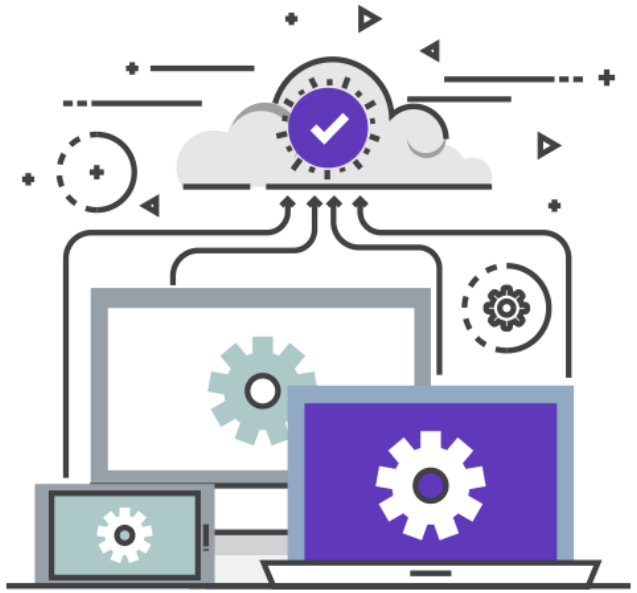




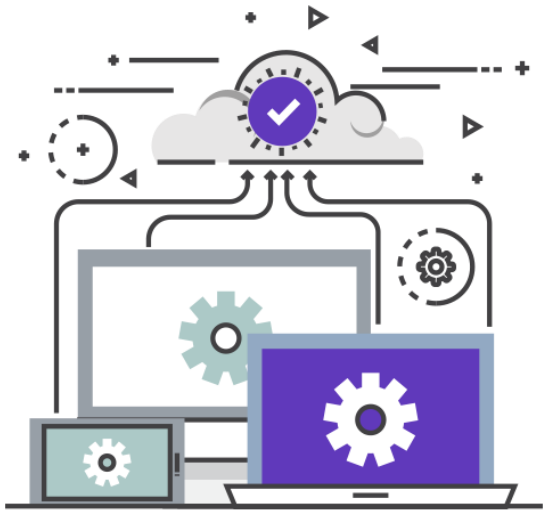
- ✓ پشتیبانی تحلیلی از نیروگاه با استفاده از ترکیبی از روش های یقینی و احتمالی
- ✓ توسعه استراتژی های هشدار دهنده
- ✓ مطالعه جامع در سطح ۲ از مطالعات ارزیابی ایمنی احتمالاتی (PSA)
- ✓ در نظر گرفتن ریسک کلیه مخاطرات داخلی و خارجی به عنوان ابزاری برای شناسایی آسیب پذیری های نیروگاه
- ✓ مدیریت حوادث شدید (SAM)

افزایش تاب آوری سخت افزاری در مدیریت حوادث

- ✓ تاب آوری سازی تجهیزات مهم برای ارائه وضعیت نیروگاه (سنسورها، کابل ها، و شاخص های پارامترهای ایمنی مهم در سیستم های هشدار دهنده) در برابر شرایط حوادث شدید
- ✓ تنوع و تعدد شاخصه ها برای وضعیت راکتور
- ✓ تعدد کافی منابع الکتریکی اضطراری AC و DC
- ✓ توجه به استحکام و دسترس بودن منبع DC در برابر خطرات شدید خارجی
- ✓ منبع تغذیه اضطراری قابل حمل
- ✓ سیستم تامین آب تغذیه اضطراری قابل حمل



افزایش تاب آوری سخت افزاری در مدیریت حوادث



- ✓ مدیریت حوادث برای جلوگیری از اختلال های احتمالی در زیرساخت ها از جمله در ارتباطات، حمل و نقل، خطوط حیاتی (آب، برق، گاز و فاضلاب)، تدارکات، منابع انسانی و سیستم های پشتیبان خارجی در شرایط خاموشی کامل
- ✓ سیستم پسیو برداشت حرارت پسماند
- ✓ استحکام کافی اتاق کنترل اصلی و تجهیزات ارتباطی با تعدد، تنوع و استقلال در برابر خطرات شدید خارجی و شرایط خاموشی کامل
- ✓ استحکام و مقاوم سازی خطوط لوله در برابر خطرات شدید خارجی و خطر انفجار هیدروژن
- ✓ قابلیت اطمینان، استقلال و تنوع وسایل اندازه گیری هشدار دهنده بر اساس اصل دفاع در عمق
- ✓ در نظر گرفتن اصل طراحی خرابی- ایمن (fail-safe design principle) در طراحی تفصیلی نیروگاه
- ✓ توجه کافی به پتانسیل ریسک یکپارچگی استخر سوخت های مصرف شده، استخر خنک کننده و برداشت قابل اعتماد حرارت

طراحی های در نظر گرفته شده در رآکتور های پیشرفته بر اساس حادثه فوکوشیما

- همزمانی وقوع حوادث طبیعی
- از دست دادن شبکه برق به دلیل وقوع حوادث خارجی
- سیستم های اضطراری و وقوع پدیده از دست دادن چاه حرارتی نهایی (LUHS) در غیاب برق AC
- استخر سوخت های مصرف شده و خنک کنندگی آن
- حفاظت از گنبد بتنی رآکتور جهت جلوگیری از انفجار هیدروژن و افزایش فشار
- حوادث مربوط به نیروگاه های چندواحدی

تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در جهان

تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در جهان

- ✓ فاجعه هسته ای فوکوشیما در سال ۲۰۱۱ تأثیر عمیقی بر درک عمومی از انرژی هسته ای داشت.
- ✓ کاهش استفاده از انرژی هسته ای مستلزم تغییر در ترکیب انرژی جهانی برای تکمیل این شکاف بود.
- ✓ فاجعه فوکوشیما منجر به کاهش استفاده از انرژی هسته ای و رشد ٤ درصدی در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر جهانی (۲۹۰ تراوات ساعت) و ظرفیت (۳۰ گیگاوات) از سال ۲۰۱۲ به بعد شد.
- ✓ کشورها واکنش‌های متفاوتی نسبت به فوکوشیما داشتند که به موجب آن برخی کشورها تغییر بلندمدت در سیاست انرژی داخلی داشتند، در حالی که برخی دیگر شوک کوتاه‌مدتی را تجربه کردند، اما تغییرات ناچیزی در مسیر بلندمدت خود ایجاد کردند.
- ✓ اجماع فزاینده ای وجود دارد که برای دستیابی به اهداف تغییرات اقلیمی، انرژی هسته ای باید بخشی از سبد انرژی جهانی باشد.

- ✓ در این بخش تأثیر حادثه فوکوشیما بر بازارهای انرژی جهانی و پنج کشور تولیدکننده انرژی هسته‌ای از جمله ژاپن که بیشترین تاثیر تاثیرپذیری را داشته است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روند توسعه تا قبل از حادثه فوکوشیما

Year: 2006

New connections to t
TARAPUR-3
TIANWAN-1
Permanent shutdown
BOHUNICE-1
DUNGENESS A-1
DUNGENESS A-2
JOSE CABRERA-1
KOZLODUY-3
KOZLODUY-4
SIZEWELL A-1
SIZEWELL A-2
Construction starts
BELOYARSK-4
LING AO-4
QINSHAN 2-3
SHIMANE-3
SHIN-KORI-1

۵

Year: 2007

New connections to th
CERNAVODA-2
KAIGA-3
TIANWAN-2
Restart after suspende
BROWNS FERRY-1
PICKERING-2
Suspended operations
KASHIWAZAKI KARIWA
KASHIWAZAKI KARIWA
Permanent shutdowns
PICKERING-2
Construction starts
AKADEMIK LOMONOS
AKADEMIK LOMONOS
FLAMANVILLE-3
HONGYANHE-1
QINSHAN 2-4
SHIN-KORI-2
SHIN-WOLSONG-1
Restarts of Suspended
KALININ-4 (950 MW(e), PWR, RUSSIA)
WATTS BA 2 (1165 MW(e), PWR, USA
Suspended onstruction
BALAKOVO-5 (950 W(e), PWR, RUS

۷

Year: 2008

Restart after suspended operations
PICKERING-3
Suspended operations
KASHIWAZAKI KARIWA-4
Permanent shutdowns
BOHUNICE-2
PICKERING-3
Construction starts
FANGJIASHAN-1
FUQING-1
HONGYANHE-2
LENINGRAD 2-1
NINGDE-1
NINGDE-2
NOVOVORONEZH 2-1
SAEUL-1 (1
SHIN-WOLSONG-2 (96
YANGJIANG-1

۱۰

Year: 2009

New connections to the grid
RAJASTHAN-5 (202 MW
TOMARI-3 (866
Permanent shutdowns
HAMAOKA-1 (515 M
HAMAOKA-2 (806 M
IGNALINA-2 (1185 MW(e), L
Construction starts
FANGJIASHAN-2 (10
FUQING-2 (10(
HAIYANG-1 (1000 MW
HONGYANHE-3 (10(
HONGYANHE-4 (1000
NOVOVORONEZH 2-2 (111
ROSTOV-3 (1011 MW(
SAEUL-2 (1340 MW(e
SANMEN-1 (10(
SANMEN-2 (1000 MV
TAISHAN-1 (1660 MV
YANGJIANG (10
Restarts of Suspended Constructions
MOCHOVCE-4 (391 M

۱۲

Year: 2010

New connections to the grid
LING AO-3 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 15 July
QINSHAN 2-3 (610 MW(e), PWR, CHINA) on 1 August
RAJASTHAN-6 (202 MW(e), PHWR, INDIA) on 28 March
ROSTOV-2 (950 MW(e), PWR, RUSSIA) on 18 March
SHIN-KORI-1 (985 MW(e), PWR, KOREA REP.) on 4 August
Suspended operations
HAMAOKA-3 (1056 MW(e), BWR, JAPAN) on 29 November
Permanent shutdowns
PHENIX (130 MW(e), FBR, FRANCE) on 1 February
Construction starts
ANGRA-3 (1340 MW(e), PWR, BRAZIL) on 30 May
CHANGJIANG-1 (610 MW(e), PWR, CHINA) on 25 April
CHANGJIANG-2 (610 MW(e), PWR, CHINA) on 21 November
FANGCHENGGANG-1 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 30 July
FANGCHENGGANG-2 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 23 December
FUQING-3 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 31 December
HAIYANG-2 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 20 June
KAKRAPAR-3 (630 MW(e), PHWR, INDIA) on 22 November
KAKRAPAR-4 (630 MW(e), PHWR, INDIA) on 22 November
LENINGRAD 2-2 (1085 MW(e), PWR, RUSSIA) on 15 April
NINGDE-3 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 8 January
NINGDE-4 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 29 September
OHMA (1325 MW(e), BWR, JAPAN) on 7 May
ROSTOV-4 (1011 MW(e), PWR, RUSSIA) on 16 June
TAISHAN-2 (1700 MW(e), PWR, CHINA) on 15 April
YANGJIANG-3 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 15 November

۱۶

NSTRI

روند توسعه پس از حادثه فوکوشیما

Year: 2011

New connections t

BUSHEHR-1	
CHASNUPP-2	
KAIGA-4	
KALININ-4	
LING AO-4	
QINSHAN 2-4	
(20 MW(e), FBR, CH	
Suspended operati	
HAMAOKA-4	
HAMAOKA-5	
HIGASHI DORI-1 (T	
KASHIWAZAKI KAR	
KASHIWAZAKI KAR	
ONAGAWA-2	
ONAGAWA-3	
SHIKA-1	
SHIKA-2	
TAKAHAMA-1	
TAKAHAMA-2	
TOKAI-2	
TOMARI-1	
TOMARI-2	
TSURUGA-2	
Permanent shutdo	
BIBLIS-A	
BIBLIS-B	
BRUNSBUETTEL	
FUKUSHIMA-DAIIC	
FUKUSHIMA-DAIIC	
FUKUSHIMA-DAIIC	
FUKUSHIMA-DAIIC	
ISAR-1	(878 MW(e), E
KRUEMMEL	(1346 MW(e), E
NECKARWESTHEIM-1	(785 MW(e), F
OLDBURY A-2	(217
PHILIPPSBURG-1	(890 MW(e), BWR, GERMANY) on 6 August
UNTERWESER	(1345 MW(e), PWR, GERMANY) on 6 August
Construction starts	
CHASNUPP-3	(315 MW(e), PWR, PAKISTAN) on 28 May
CHASNUPP-4	(315 MW(e), PWR, PAKISTAN) on 18 December
RAJASTHAN-7	(630 MW(e), PHWR, INDIA) on 18 July
RAJASTHAN-8	(630 MW(e), PHWR, INDIA) on 30 September

Year: 2012

New connections to the grid	
NINGDE-1	
SHIN-KORI-2	
SHIN-WOLSONG-1	
Restart after suspended oper	
BRUCE-1	
BRUCE-2	
Suspended operations	
KASHIWAZAKI KARIWA-5	
KASHIWAZAKI KARIWA-6	
SHIMANE-2	
TOMARI-3	
Permanent shutdowns	
GENTILLY-2	
OLDBURY A-1	
WYLFA-2	
Construction starts	
BALTIC-1	
BARAKAH-1	
FUQING-4	
SHIDAO BAY-1	
SHIN-HANUL-1	
TIANWAN-3	
YANGJIANG-4	
Cancelled Construction	
BELENE-1	
BELENE-2	
KURSK-5	
Miscellaneous	
PICKERING-2	
PICKERING-3	

Year: 2013

New connections to the grid	
HONGYANHE-1	
HONGYANHE-2	
KUDANKULAM-1	
YANGJIANG-1	
Suspended operations	
SANTA MARIA DE GARONA	
Permanent shutdowns	
CRYSTAL RIVER-3	
FUKUSHIMA-DAIICHI-5	
FUKUSHIMA-DAIICHI-6	
KEWAUNEE	
SAN ONOFRE-2	
SAN ONOFRE-3	
Construction starts	
BARAKAH-2	
BELARUSIAN-1	
SHIN-HANUL-2	(1340 MW(e), PWR, KOREA REP.) on 19 June
SUMMER-2	(1117 MW(e), PWR, USA) on 8 March
SUMMER-3	(1117 MW(e), PWR, USA) on 1 November
TIANWAN-4	(1050 MW(e), PWR, CHINA) on 27 September
VOGTLE-3	(1117 MW(e), PWR, USA) on 2 March
VOGTLE-4	(1117 MW(e), PWR, USA) on 19 November
YANGJIANG-5	(1000 MW(e), PWR, CHINA) on 18 September
YANGJIANG-6	(1000 MW(e), PWR, CHINA) on 23 December

Year: 2014

New connections to the grid	
ATUCHA-2	(693 MW
FANGJIASHAN-1	(100(
FUQING-1	(10
NINGDE-2	(1(
ROSTOV-3	(1011 M
Permanent shutdowns	
VERMONT YANKEE	(60
Construction starts	
BARAKAH-3	(134
BELARUSIAN-2	(11(
Cancelled Construction	
CERNAVODA-5	(655 MW(e status o

Year: 2015

New connections to the grid	
BELOYARSK-4	(789 MW(e), FB
CHANGJIANG-1	(610 MW(e), I
FANGCHENGGANG-1	(1000 MW(e),
FANGJIASHAN-2	(1000 MW(e),
FUQING-2	(1000 MW(
HONGYANHE-3	(1000 MW(e
NINGDE-3	(1018 MW(e
SHIN-WOLSONG-2	(960 MW(e), I
YANGJIANG-2	(1000 MW(e
YANGJIANG-3	(1000 MW(e),
Permanent shutdowns	
GENKAI-1	(529 MW
GRAFENRHEINFELD	(1275 MW(e), F
MIHAMA-1	(320 MW
MIHAMA-2	(470 MW
SHIMANE-1	(439 MW
TSURUGA-1	(340 MW
WYLFA-1	(490 MW(e
Construction starts	
BARAKAH-4	(1345 M
CAREM25	(25 MW(e), PWF
FANGCHENGGANG-3	(1000 MW(e), P
FUQING-5	(1000 MW
FUQING-6	(1000 MW(e), P
HONGYANHE-5	(1000 MW(e
HONGYANHE-6	(1000 MW
KANUPP-2	(1014 MW(e), PW In
TIANWAN-5	(1000 MW(e), P
Restarts of Suspended Constructions	
MOCHOVCE-3	(440 MW(e), PWR, SLOVAKIA) on 27 January
Miscellaneous	
SENDAI-1	Resumed operation on 11 August
SENDAI-2	Resumed operation on 15 October

Year: 2016

New connections to the grid	
CHANGJIANG-2	(610 MW(e), PWR, CHINA) on 20 June
CHASNUPP-3	(315 MW(e), PWR, PAKISTAN) on 15 October
FANGCHENGGANG-2	(1000 MW(e), PWR, CHINA) on 15 July
FUQING-3	(1000 MW(e), PWR, CHINA) on 7 September
HONGYANHE-4	(1000 MW(e), PWR, CHINA) on 1 April
KUDANKULAM-2	(917 MW(e), PWR, INDIA) on 29 August
NINGDE-4	(1018 MW(e), PWR, CHINA) on 29 March
NOVOVORONEZH 2-1	(1114 MW(e), PWR, RUSSIA) on 5 August
SAEUL-1	(1340 MW(e), PWR, KOREA,REP.OF) on 15 January
WATTS BAR-2	(1165 MW(e), PWR, USA) on 3 June
Permanent shutdowns	
FORT CALHOUN-1	(482 MW(e), PWR, USA) on 24 October
IKATA-1	(538 MW(e), PWR, JAPAN) on 10 May
NOVOVORONEZH-3	(385 MW(e), PWR, RUSSIA) on 25 December
OSKARSHAMN-2	(638 MW(e), BWR, SWEDEN) on 22 December. Authorization on 16 June 2017, announced on 14 July 2017
Construction starts	
FANGCHENGGANG-4	(1000 MW(e), PWR, CHINA) on 23 December
KANUPP-3	(1014 MW(e), PWR, PAKISTAN) on 31 May
TIANWAN-6	(1000 MW(e), PWR, CHINA) on 7 September
Miscellaneous	
IKATA-3	Resumed operation on 15 August

روند توسعه پس از حادثه فوکوشیما

Year: 2018

New connections to the grid

HAIYANG-1
HAIYANG-2
LENINGRAD 2-1
ROSTOV-4
SANMEN-1
SANMEN-2
TAISHAN-1
TIANWAN-4
YANGJIANG-5

Suspended operations

MADRAS-1

Permanent shutdowns

CHINSHAN-1
IKATA-2
LENINGRAD-1
OHI-1
OHI-2
ONAGAWA-1
OYSTER CREEK

Construction starts

AKKUYU-1
HINKLEY POINT C-1
KURSK 2-1
ROOPPUR-2
SAEUL-4

Suspended Construction

BALTIC-1

Miscellaneous

GENKAI-3
GENKAI-4 Reconnected to the grid on 16 June
OHI-3 Reconnected to the grid on 14 March
OHI-4 Reconnected to the grid on 11 May

Year: 2019

New connections to the grid

AKADEMIK LOMONOSOV-1
AKADEMIK LOMONOSOV-2
NOVOVORONEZH 2-2
SAEUL-2 (13
TAISHAN-2
YANGJIANG-6

Permanent shutdowns

BILIBINO-1
CHINSHAN-2 (
FUKUSHIMA-DAINI-1
FUKUSHIMA-DAINI-2
FUKUSHIMA-DAINI-3
FUKUSHIMA-DAINI-4
GENKAI-2
MUEHLEBERG
PHILIPPSBURG-2 (14
PILGRIM-1
RINGHALS-2 (
THREE MILE ISLAND-1
WOLSONG-1

Construction starts

BUSHEHR-2
HINKLEY POINT C-2
KURSK 2-2
TAIPINGLING-1
ZHANGZHOU-1 (1400 MW(e), PWR, CHINA) on 19 June

Cancelled Construction

SUMMER-2 (1117 MW(e), PWR, USA) on 5 March
SUMMER-3 (1117 MW(e), PWR, USA) on 5 March

Year: 2020

New connections to

BARAKAH-1
BELARUSIAN-1
FUQING-5
LENINGRAD 2-2
TIANWAN-5

Suspended operatio

TARAPUR-1
TARAPUR-2

Permanent shutdow

DUANE ARNOLD-1
FESSENHEIM-1
FESSENHEIM-2
INDIAN POINT-2
LENINGRAD-2
RINGHALS-1

Construction starts

AKKUYU-2
SANAOCUN-1
TAIPINGLING-2
XIAPU-2
ZHANGZHOU-2
(1400 MW(e), PWR, C

Year: 2021

New connections to

BARAKAH-2
HONGYANHE-5
KAKRAPAR-3
KANUPP-2
SHIDAO BAY-1
TIANWAN-6

Permanent shutdow

BROKDORF
DUNGENESS B-1
DUNGENESS B-2
GROHNDE
GUNDREMMINGEN-(
HUNTERSTON B-1
INDIAN POINT-3
KANUPP-1
KUOSHENG-1
KURSK-1

Construction starts

AKKUYU-3
BREST-OD-300
CHANGJIANG-3
CHANGJIANG-4
KUDANKULAM-5
KUDANKULAM-6
LINGLONG-1
SANAOCUN-2 (1117 MW(e), PWR, CHI
TIANWAN-7 (1171 MW(e), PWR
XUDABU-3 (1200 MW(e), PWR

Year: 2022

New connections to the grid

BARAKAH-3
FUQING-6
HONGYANHE-6
KANUPP-3
OLKILUOTO-3
SHIN-HANUL-1

Permanent shutdowns

DOEL-3
HINKLEY POINT B-1
HINKLEY POINT B-2
HUNTERSTON B-2
PALISADES

Construction starts

AKKUYU-4
EL DABAA-2
ELDABAA-1
HAIYANG-3
LUFENG-5
SANMEN-3
TIANWAN-8
XUDABU-4

Year: 2023

New connections to the grid

BELARUSIAN-2 (1110 MW(e), PWR, BELARUS) on 13 May
FANGCHENGGANG-3 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 10 January
MOCHOVCE-3 (440 MW(e), PWR, SLOVAKIA) on 31 January
SHIN-HANUL-2 (1340 MW(e), PWR, KOREA,REP.OF) on 21 December
VOGTLE-3 (1117 MW(e), PWR, USA) on 31 March

Restart after suspended operations

TAKAHAMA-1 (780 MW(e), PWR, JAPAN) on 2 August
TAKAHAMA-2 (780 MW(e), PWR, JAPAN) on 20 September

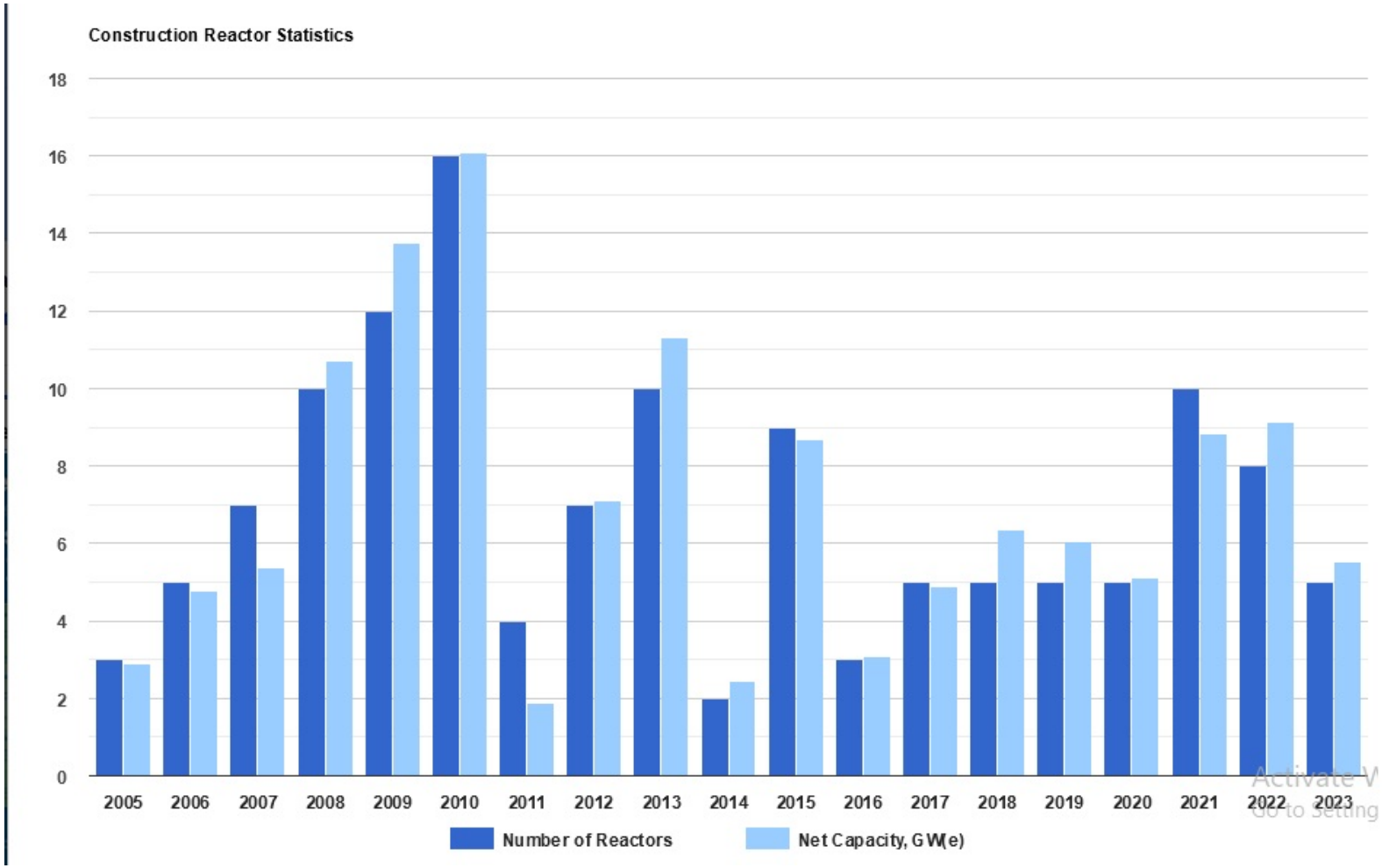
Permanent shutdowns

EMSLAND (1335 MW(e), PWR, GERMANY) on 15 April
ISAR-2 (1410 MW(e), PWR, GERMANY) on 15 April
KUOSHENG-2 (985 MW(e), BWR, TAIWAN,CHINA) on 14 March
NECKARWESTHEIM-2 (1310 MW(e), PWR, GERMANY) on 15 April
TIHANGE-2 (1008 MW(e), PWR, BELGIUM) on 1 February

Construction starts

ELDABAA-3 (1194 MW(e), PWR, EGYPT) on 3 May
HAIYANG-4 (1161 MW(e), PWR, CHINA) on 22 April
LUFENG-6 (1116 MW(e), PWR, CHINA) on 26 August
SANMEN-4 (1163 MW(e), PWR, CHINA) on 22 March
XUDABU-1 (1000 MW(e), PWR, CHINA) on 3 November

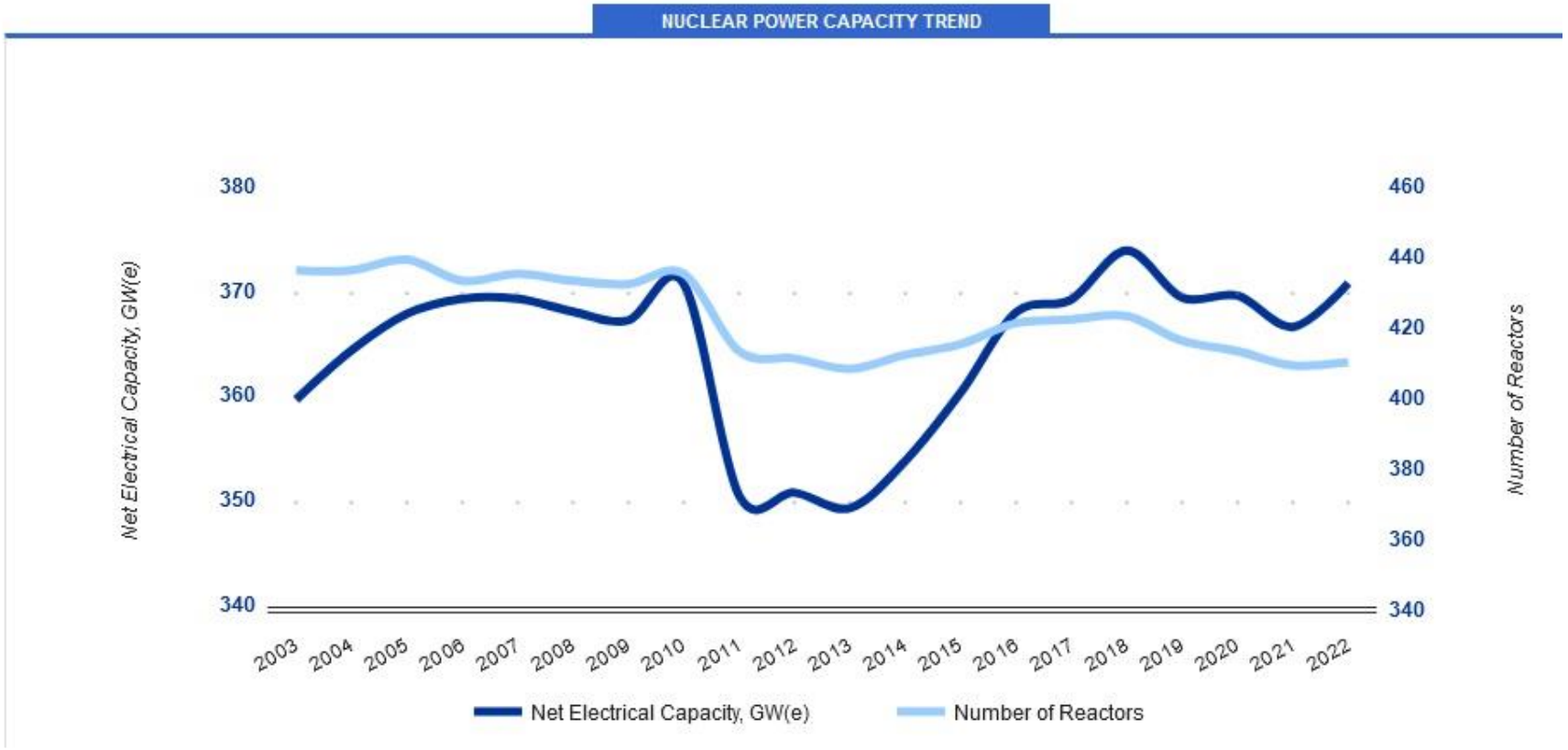
آمار ساخت نیروگاه های هسته ای قبل و پس از حادثه فوکوشیما



روند تغییرات در ظرفیت نیروگاه های هسته ای قبل و پس از حادثه فوکوشیما

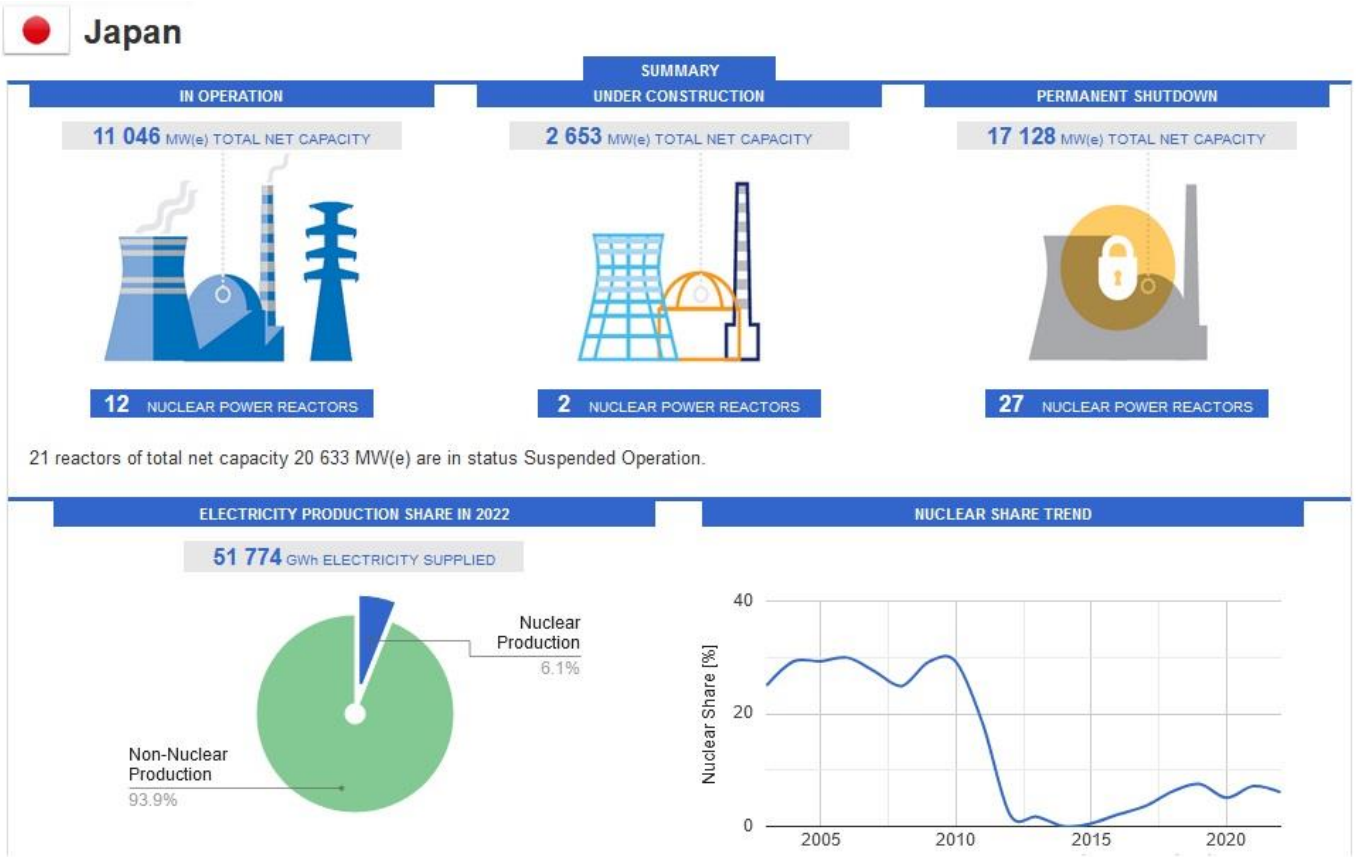
Nuclear Power Capacity Trend

Sum of Reference Unit Power (net capacity) of reactors in operation within and at the end of reported years

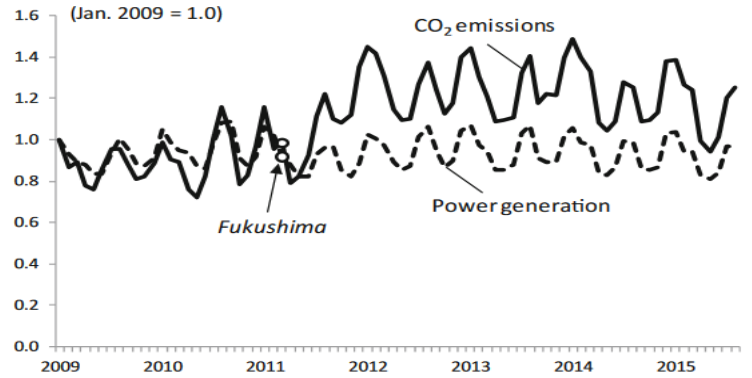


تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در ژاپن

تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در ژاپن

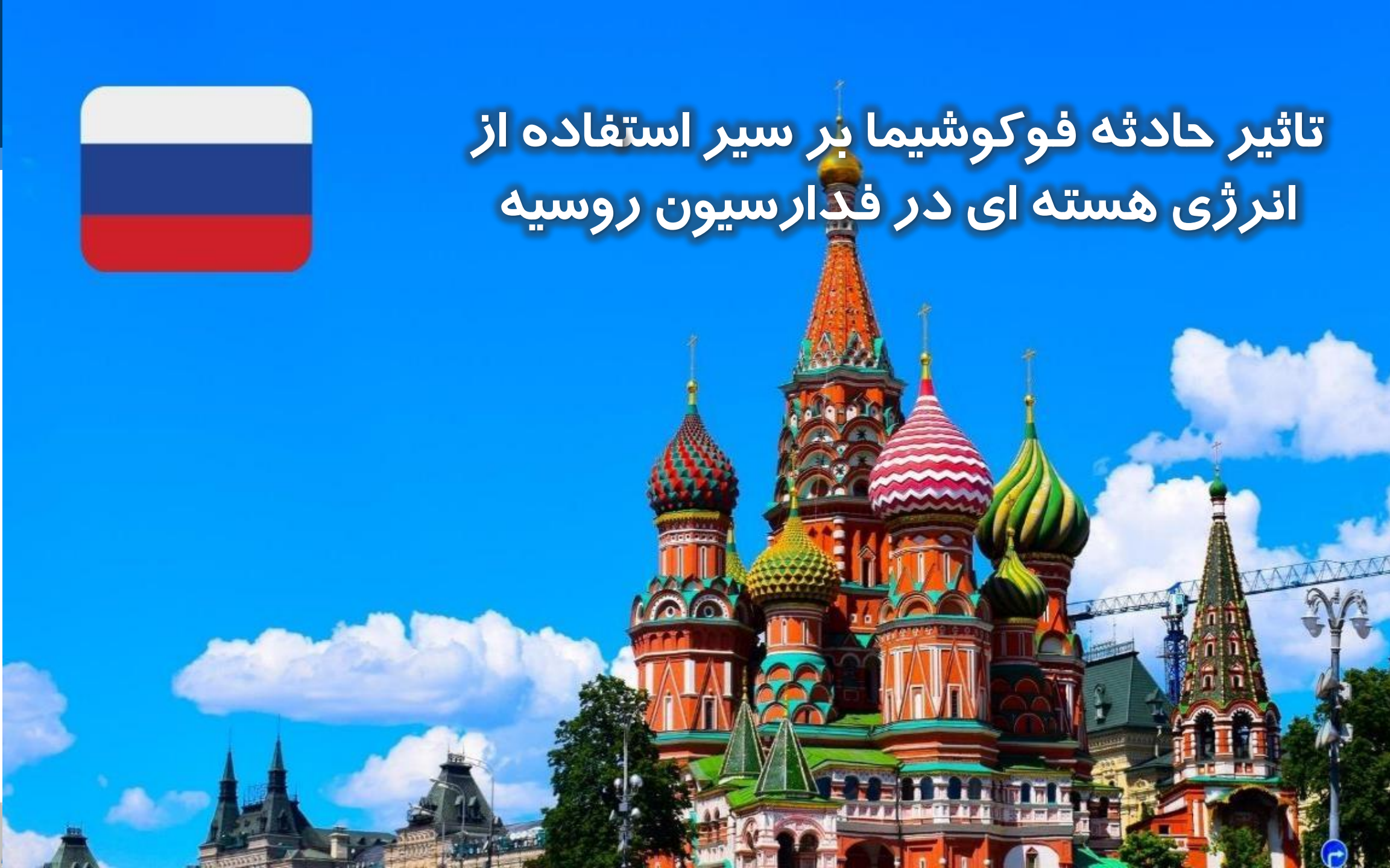


- ژاپن به عنوان کشوری که فاجعه هسته ای فوکوشیما را تجربه نمود، شدیدترین کاهش در ظرفیت بهره برداری از انرژی هسته ای را داشت. پیش از این رویداد، ژاپن در پانزدهمین کنفرانس اعضا (COP15) در سال ۲۰۰۹ شرکت کرده بود و متعهد شد تا سال ۲۰۲۰ انتشار گازهای گلخانه ای را تا ۲۵ درصد نسبت به سطوح انتشار سال ۱۹۹۰ کاهش دهد. در نتیجه این تعهد، توسعه ظرفیت انرژی هسته ای در ژاپن انجام شد. برنامه ریزی شده بود که انرژی هسته ای از ۳۰٪ به ۵۰٪ در ژاپن افزایش یابد.
- در عوض، پس از این رویداد، ژاپن تولید انرژی هسته‌ای خود را در سال ۲۰۱۲ به حداقل رساند و تا سال ۲۰۱٤ تمام تأسیسات هسته‌ای خود را خاموش نمود.

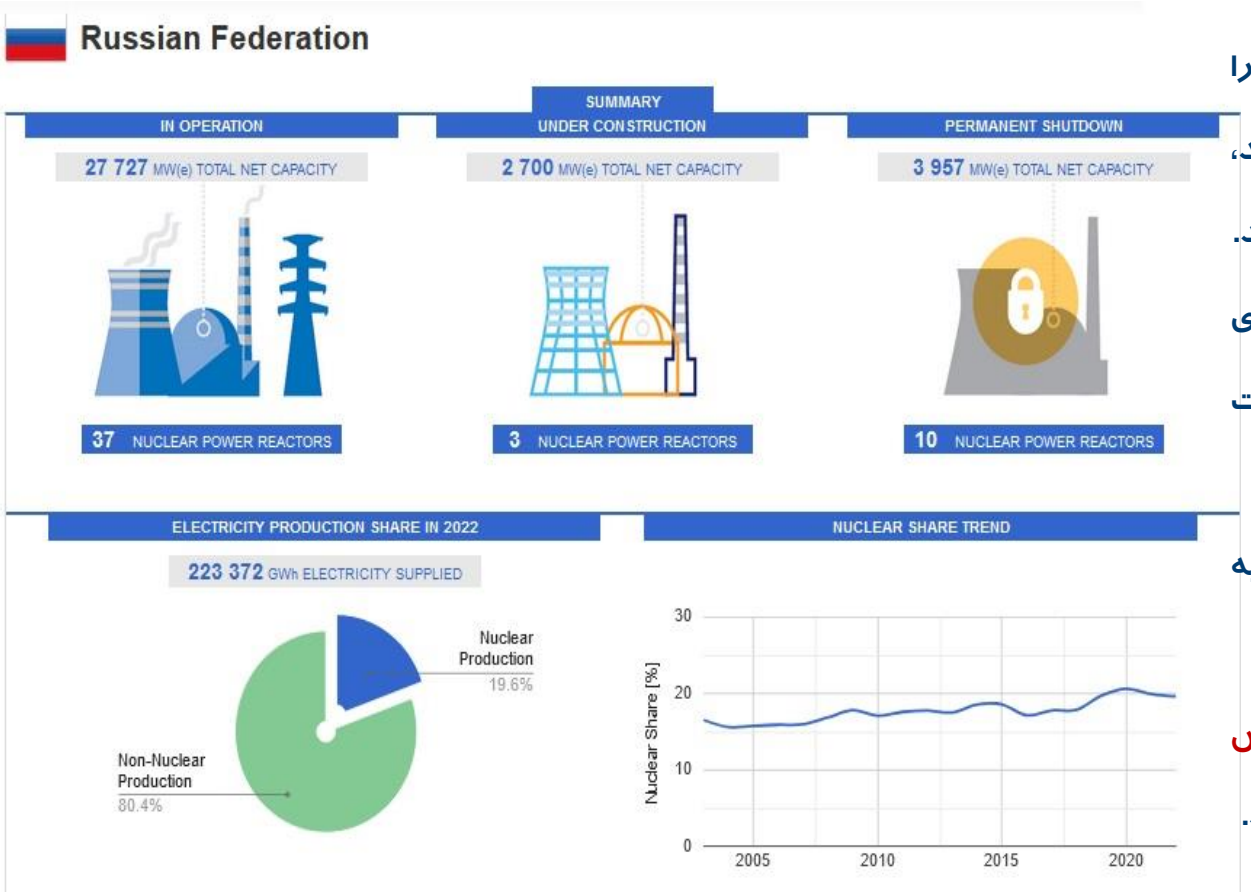


Monthly CO_2 emissions and power generation in Japan (estimated from [3])

تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در فدارسیون روسیه



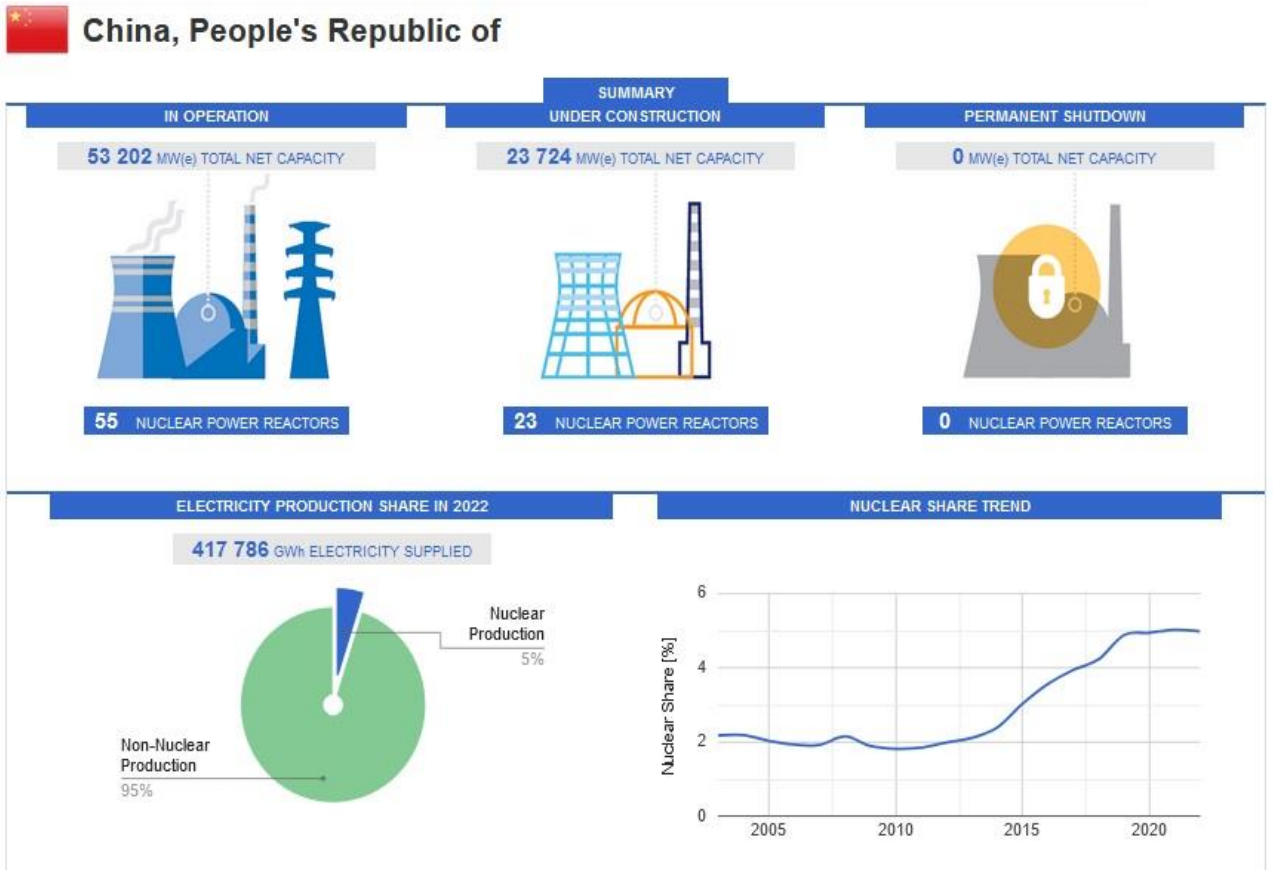
تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در فدراسیون روسیه



- ✓ واکنش روسیه به فاجعه هسته ای فوکوشیما بسیار کم بود.
- ✓ دولت روسیه دستور بازرسی ایمنی تمامی نیروگاه‌های هسته‌ای فعال خود را صادر نمود. در نتیجه، یک برنامه ایمنی برای ارتقای نیروگاه ها تدوین و اجرا شد، اما هیچ نیروگاه هسته ای تعطیل نشد و ظرفیت سازی بیشتر با مشکل مواجه نشد.
- ✓ با توجه به عدم تغییر در برنامه های هسته ای، تغییرات در سوخت های فسیلی و تولید و ظرفیت انرژی های تجدیدپذیر را می توان براساس سیاست های انرژی روسیه توضیح داد.
- ✓ در سال ۲۰۱۳، رئیس جمهور روسیه فرمان کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به ۷۵ درصد از انتشار سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۲۰ صادر نمود
- ✓ از سال ۲۰۱٤، ظرفیت استفاده از سوخت های فسیلی نیز در این کشور کاهش یافته است که با رشد انرژی های هسته ای و تجدیدپذیر در حال جبران می باشد.

تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای درچین

تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در چین

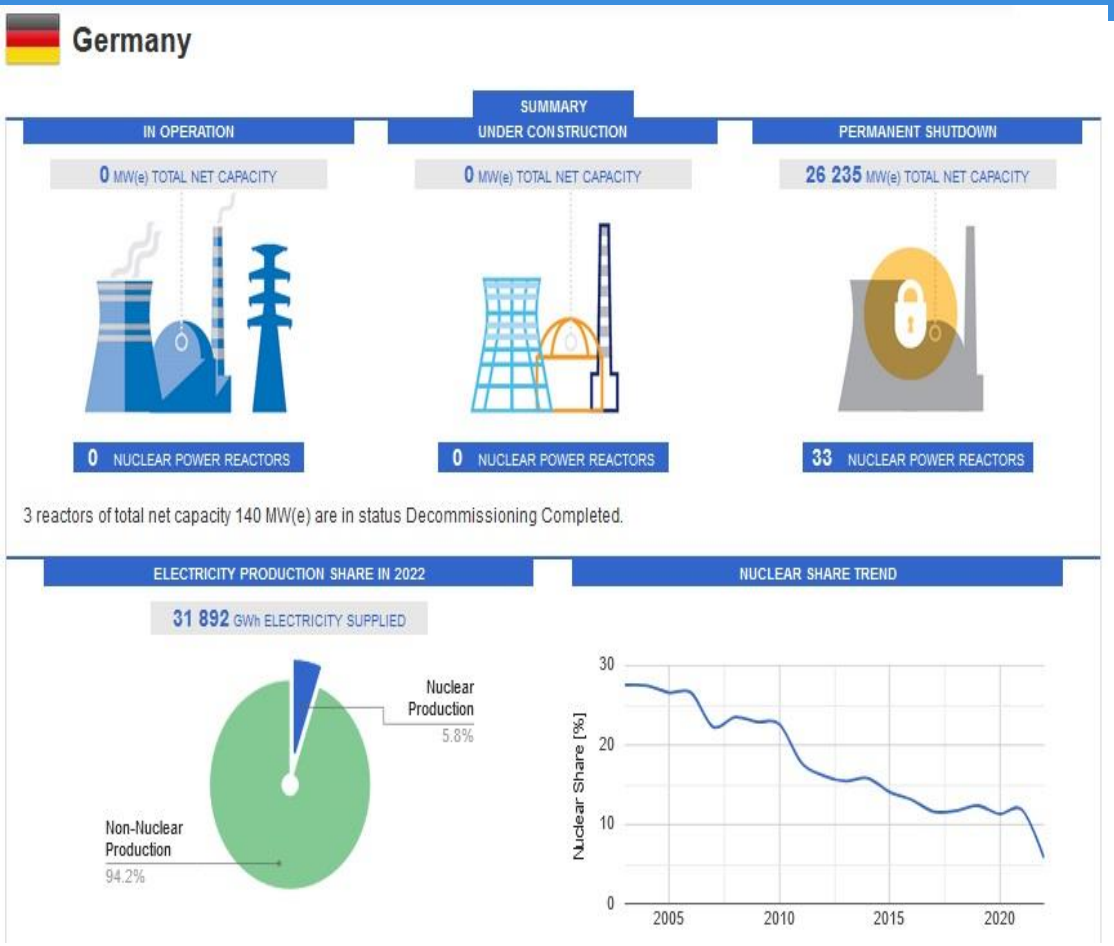


- ✓ واکنش چین به فاجعه هسته ای فوکوشیما متوسط بود.
- ✓ چین نیز مانند روسیه ضرورت بازرسی های ایمنی از تمامی نیروگاه های هسته ای فعال را در دستور کار قرارداد.
- ✓ پیش از این رویداد، چین اهداف بلندپروازانه‌ای را برای دستیابی به ظرفیت ۵۸ گیگاوات انرژی هسته ای تا سال ۲۰۲۰ برای کاهش آلودگی هوا در چین که به دلیل استفاده از نیروگاه‌های زغال‌سنگ وجود داشت، را آغاز کرده بود. حادثه فوکوشیما این پیشرفت را کند کرد، اما چین به سرعت رشد بالایی در توسعه انرژی هسته‌ای تحت استانداردهای ایمنی سخت‌گیرانه‌تر را در پیش گرفت.
- ✓ شواهد نشان می دهد که ظرفیت انرژی اضافی مورد نیاز پس از فوکوشیما هم از سوخت‌های فسیلی و هم از انرژی‌های تجدیدپذیر و با رشد بیشتر در انرژی‌های تجدیدپذیر در چین حاصل شده است.
- ✓ با توجه به رشد تقاضای انرژی در چین، حتی نیروگاه های زغال سنگ نیز در حال ساخت هستند اما با نرخ کنترل شده. علاوه بر این، سیاست‌هایی برای تشویق سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر طراحی شده‌اند.

آلمان

تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده ازانرژی هسته ای

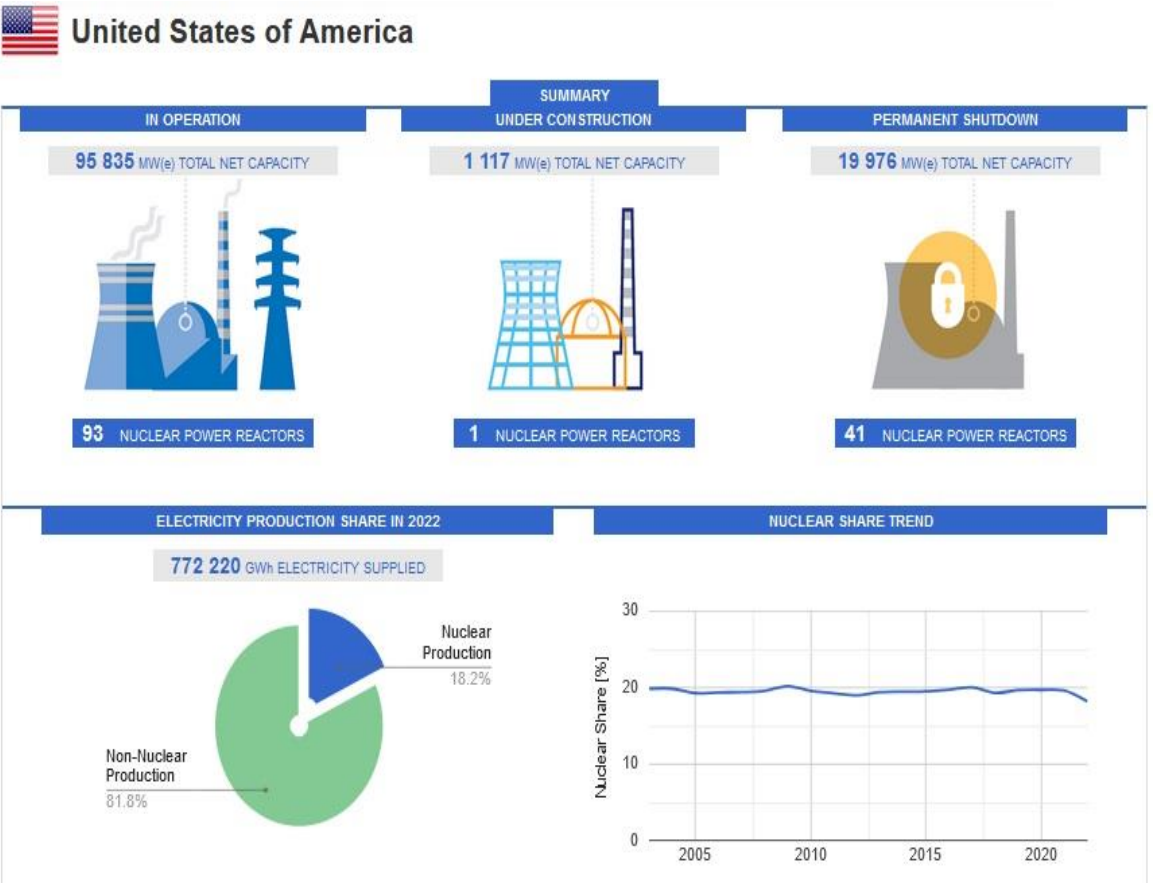
تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در آلمان



- ✓ آلمان پس از فاجعه فوکوشیما شدیدترین اقدامات را انجام داد.
- ✓ این کشور تصمیم گرفت تا سال ۲۰۲۲ انرژی هسته ای را با تعطیلی فوری هشت نیروگاه هسته ای خود به طور کامل حذف کند که این امر در سال ۲۰۲۳ محقق شد. در بازه زمانی فوری، آلمان تولید سوخت های فسیلی خود را افزایش داد و ظرف چند سال ظرفیت سوخت های فسیلی را به طور چشمگیری افزایش داد. این سرمایه گذاری در درجه اول در زغال سنگ بود، زیرا آلمان بیشتر نفت و گاز طبیعی خود را وارد می کند. این کار با اهداف سال ۲۰۰۷ آلمان برای حذف تدریجی معادن زغال سنگ تا سال ۲۰۱۸ مغایرت داشت.
- ✓ آلمان به منظور جلوگیری از تجدید حیات سوخت های فسیلی در کوتاه مدت، نقشه راه انرژی را به نام Energiewende ارائه نمود. این برنامه شامل کاهش گازهای گلخانه ای به ۶۰٪ از سطوح ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۲۰، ۴۵٪ تا سال ۲۰۳۰، ۳۰٪ تا سال ۲۰۴۰، و ۵–۲۰٪ تا سال ۲۰۵۰ است.
- ✓ همچنین اهداف بهره وری انرژی، برای کاهش ۲۰٪ مصرف تا سال ۲۰۲۰، ۵۰٪ تا سال ۲۰۵۰ در مقایسه با سطوح مصرف در سال ۲۰۰۸ ترسیم شد.

تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در ایالات متحده

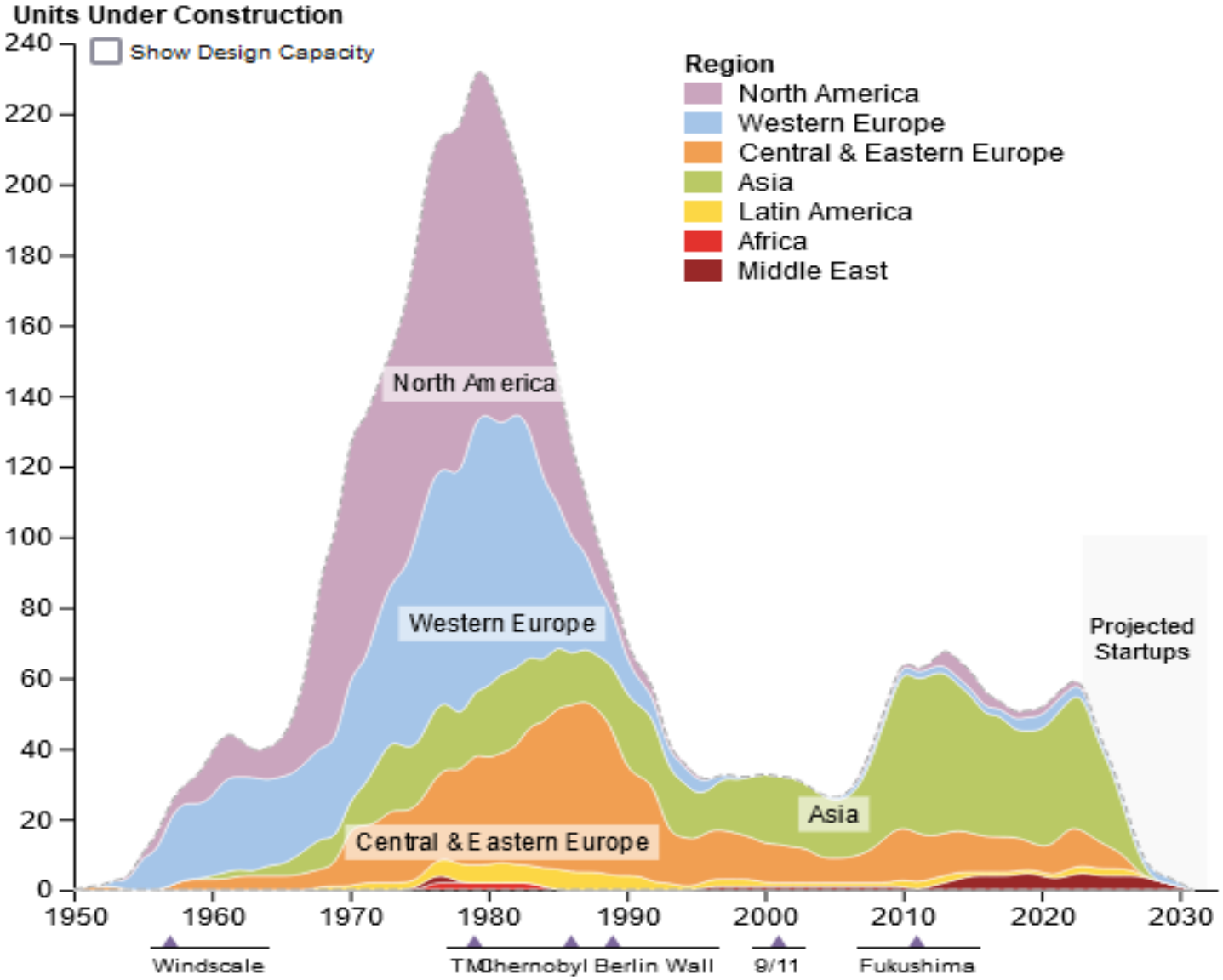
تاثیر حادثه فوکوشیما بر سیر استفاده از انرژی هسته ای در ایالات متحده



- ایالات متحده مانند روسیه بازرسی های ایمنی را در تمام نیروگاه های هسته ای فعال را در دستور کار قرار داد.
- همه نیروگاه‌های هسته‌ای در حال کار، با چند توصیه ایمنی برای بهبود عملکرد، ایمن تلقی شدند.
- NRC همچنین فاجعه فوکوشیما را بررسی کرد و اعلام کرد که یک رویداد مشابه آن در ایالات متحده بعید است و در صورت وقوع می تواند به درستی تعدیل و کنترل شود.
- در ایالات متحده، تغییر در ترکیب تولید انرژی به انقلاب گاز shale و سیاست انرژی تجدیدپذیر نسبت داده می شود. تولید سوخت های فسیلی در سال های پس از فوکوشیما به دلیل رواج گاز طبیعی بسیار ارزان قیمت کاهش یافته است. در حالی که این گاز طبیعی جایگزین نیروگاه های زغال سنگ می شود، همچنین انگیزه سرمایه گذاری در فناوری های تجدیدپذیر گران تر را کاهش می دهد.

برنامه های توسعه نیروگاه های هسته ای در جهان

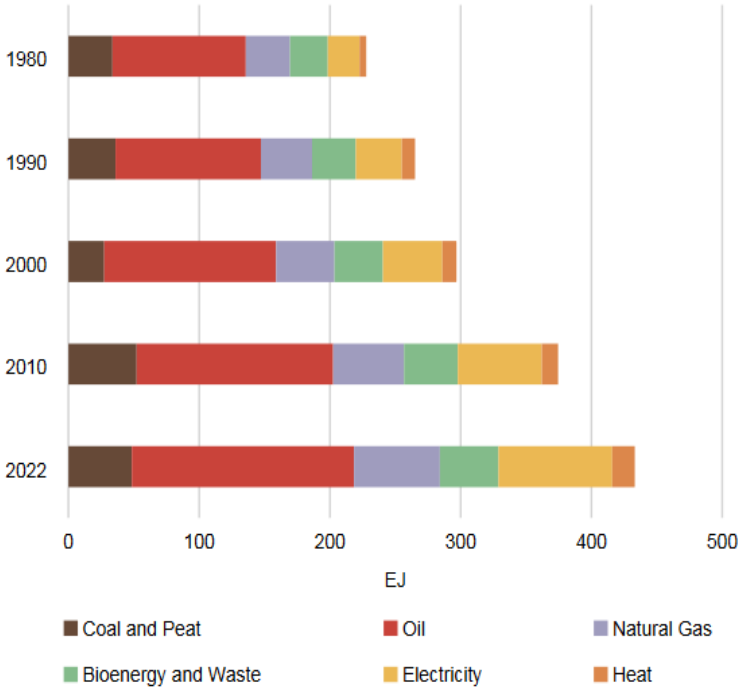
برنامه های توسعه نیروگاه های هسته ای در جهان



ترکیب سبد انرژی

World

FIGURE 3. WORLD FINAL ENERGY CONSUMPTION BY ENERGY SOURCE



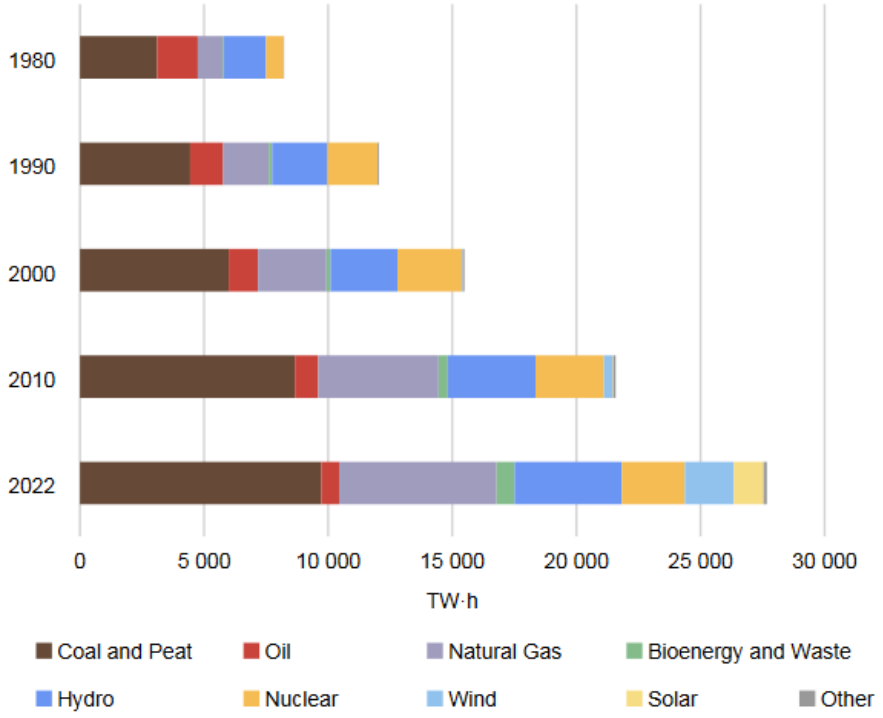
Energy Overview 2022

20.1%
of final energy consumed was electricity

27 672 TW·h
of electricity produced

9.2%
of electricity produced by nuclear

FIGURE 4. WORLD TOTAL ELECTRICITY PRODUCTION BY ENERGY SOURCE



پیش بینی توسعه انرژی تا سال ۲۰۵۰

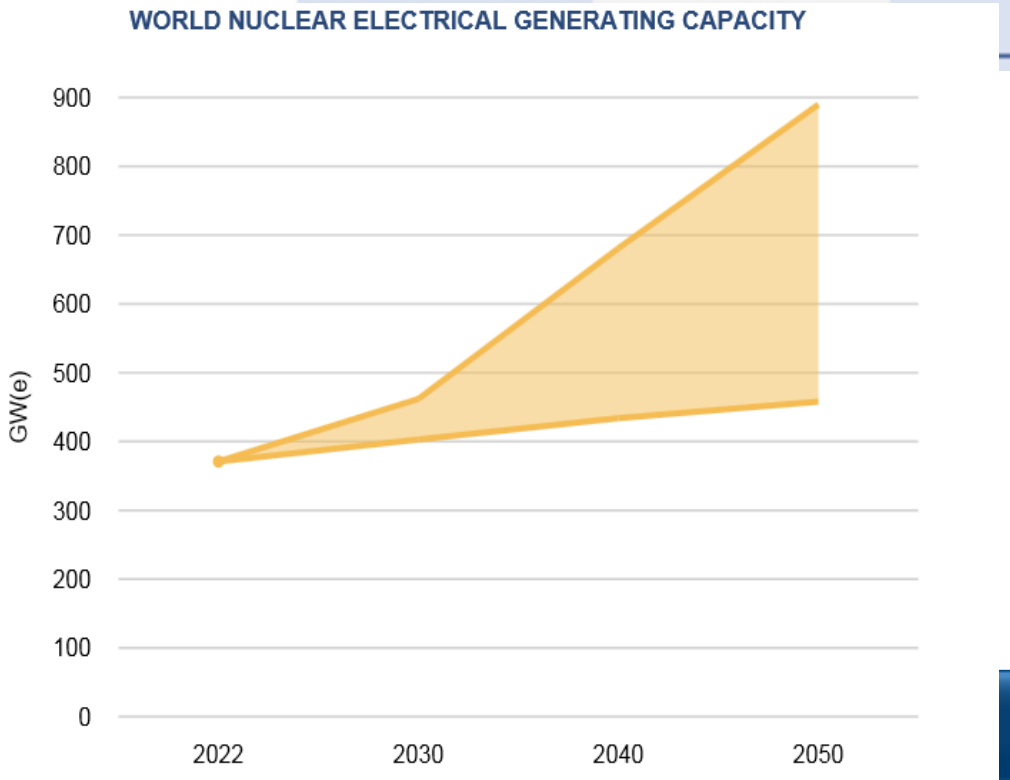
WORLD FINAL CONSUMPTION OF ENERGY AND ELECTRICITY, EJ

Final Consumption	2022	2030	2040	2050
Energy	434.0	471.2	498.3	535.1
Electricity	87.1	105.5	132.1	159.6
Electricity as % of Energy	*20.1%*	*22.4%*	*26.5%*	*29.8%*

پیش بینی توسعه برق هسته ای تا سال ۲۰۵۰

WORLD TOTAL AND NUCLEAR ELECTRICAL GENERATING CAPACITY, GW(e)

Electrical Capacity	2022	2030		2040		2050	
		Low	High	Low	High	Low	High
Total	8 281	10 079	10 079	12 841	12 841	16 590	16 590
Nuclear	371	403	462	434	681	458	890



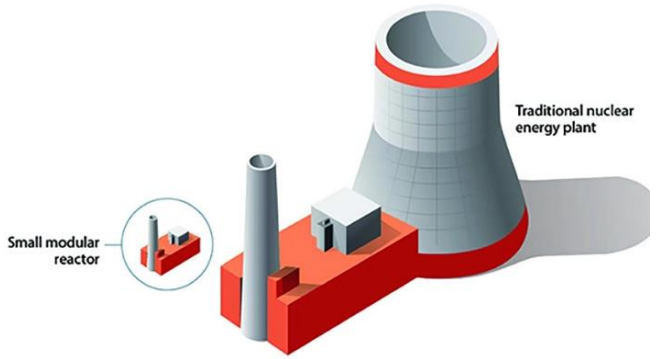
Electricity and Nuclear Production Projections

- Total electricity production is expected to increase by about 20% by 2030 and by about 80% by 2050 compared with 2022 levels.
- In the high case, nuclear electricity production is expected to increase by about 40% from the 2022 level by 2030 and by almost 3-fold by 2050. The share of nuclear in total electricity production is expected to increase by more than 5 percentage points.
- In the low case, nuclear electricity production is expected to increase by about 24% from the 2022 level by 2030, rising to 53% by 2050. The share of nuclear in total electricity production is expected to decline by about one and a half percentage points.

پیش بینی برنامه های توسعه نیروگاه های هسته ای در جهان

890 GW in 2050

- آژانس بین المللی انرژی اتمی در چشم انداز جدید خود برای ظرفیت جهانی هسته ای برای تولید برق، رسیدن به ظرفیت ۴۵۸ (حد پایین) تا ۸۹۰ (حد بالا) گیگاوات برق هسته ای را تا سال ۲۰۵۰ پیش بینی نموده است .
- تحقق این پیش بینی مستلزم اجرای بهره برداری طولانی مدت در یک مقیاس بزرگ از تمامی نیروگاه های موجود و بیش از ۶۰۰ گیگاوات ظرفیت ساخت جدید در سه دهه آینده است.
- پیشنهاد استفاده از فناوری های جدید، از جمله راکتورهای کوچک و متوسط یا ماژولارها (SMR) و انواع دیگر راکتورهای پیشرفته نسل جدید، می‌توانند با فراهم کردن فرصت‌هایی برای استقرار انرژی هسته‌ای برای رفع نیازهای مختلف و غلبه بر برخی محدودیت‌ها (مانند کشورهای دارای شبکه‌های کوچک و ...) یکی از مهم ترین راهکارها در این زمینه باشد.



- با این حال، انتظار می رود که بخش عمده ای از توسعه هسته ای پیش بینی شده با راکتورهای بزرگ محقق شود.

برنامه های توسعه انرژی هسته ای در سایر کشورها

- **۲۷ کشور** در حال بررسی، **برنامه ریزی** یا شروع برنامه های انرژی هسته ای هستند و **۲۰** کشور دیگر نیز به این حوزه ابراز **علاقه** کرده اند.

- شرکت‌های هسته‌ای دولتی در **روسیه و چین** در ارائه نیروگاه‌های هسته‌ای به کشورهای نوظهور، با **ارائه خدمات مالی و سوخت** و توافق‌نامه‌های مختلف پیشتاز هستند.
  - ✓ **روسیه**: ترکیه، اردن، مصر، تونس، الجزایر، مراکش، نیجریه، غنا، اتیوپی، سودان، قزاقستان، ونزوئلا و ...
  - ✓ **چین**: پاکستان، سودان، کنیا، تایلند، کامبوج

جمع بندی

- حادثه هسته ای فوکوشیما هنوز تمام نشده است. تأثیرات حادثه فوکوشیما همچنان ادامه دارد و ماهیت بحث سیاست انرژی را به طور چشمگیری تغییر داده است. این حادثه همچنین باعث تغییرات قابل توجهی در ساختار عرضه و تقاضای انرژی شده است.
- در همین حال، نیازهای جهانی برق در دهه های اخیر افزایش یافته است و در سناریوهای کلیدی انرژی برای دستیابی به اهداف کاهش گازهای گلخانه ای، نقش مهمی برای انرژی هسته ای پیش بینی می شود.
- برای کربن زدایی تولید برق از طریق استفاده بیشتر از انرژی هسته ای و انرژی های تجدیدپذیر نظیر آبی، بادی و خورشیدی تنها اولین قدم است. اگر جهان بخواهد تا سال ۲۰۵۰ به صفر خالص کربن برسد، بخش هایی مانند صنعت، حمل و نقل و ساختمان نیز به انرژی پاک نیاز خواهند داشت.

با سپاس از توجه شما