اولین کنفرانس بین المللی مدیریت و صنعت
۱۲ شهریور ۱۴۰۰ - تفلیس / گرجستان
1ST National Conference on Management & Industry
3 September 2021 - Georgia

نیروگاه‌های هسته‌ای در اقتصادهای نوظهور و سیاستگذاری منابع انسانی

حمزه شیخ شعاعی
دانشجوی سیاستگذاری علم و فناوری دانشگاه شهید بهشتی تهران
فارغ التحصیل مهندسی نرم افزار دانشگاه آزاد اسلامی قم
hamzeh.sheykh.shoaei@gmail.com
https://civilica.com/p/111269

چکیده

گسترش سریع فناوری‌های هسته‌ای و انرژی هسته‌ای برای تولید برق در کشورهای در حال توسعه، مستلزم سیاستگذاری و اجرای برنامه‌های فوری توسعه مهارت است. منابع انسانی ماهر اولین گام حیاتی در حصول اطمینان از تامین پایدار پرسنل واجد شرایط و متخصص برای استفاده ایمن، مسئولانه و پایدار از فناوری‌های هسته‌ای است. پژوهش حاضر، روند فعلی توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در کشورهای تازه وارد به این صنعت را برجسته می‌سازد. همچنین بر نیاز به برنامه‌های توسعه منابع انسانی ماهر که برای مدیریت پایدار نیروگاه‌های هسته‌ای در طول ساخت، بهره برداری، نگهداری و تعمیر همراه با عملیات ایمن و امن مورد نیاز است، تاکید می‌شود. برنامه توسعه مهارت‌های ملی یک کشور بلندهمت هسته‌ای، باید شامل توسعه منابع انسانی، آموزش و پرورش، مدیریت دانش و شبکه‌های دانش در سطح ملی، منطقه‌ای و بین المللی باشد.

کلمات کلیدی: انرژی هسته‌ای، سیاستگذاری، نیروگاه هسته‌ای، آموزش و پرورش، توسعه مهارت‌ها، تولید برق

www.SID.ir

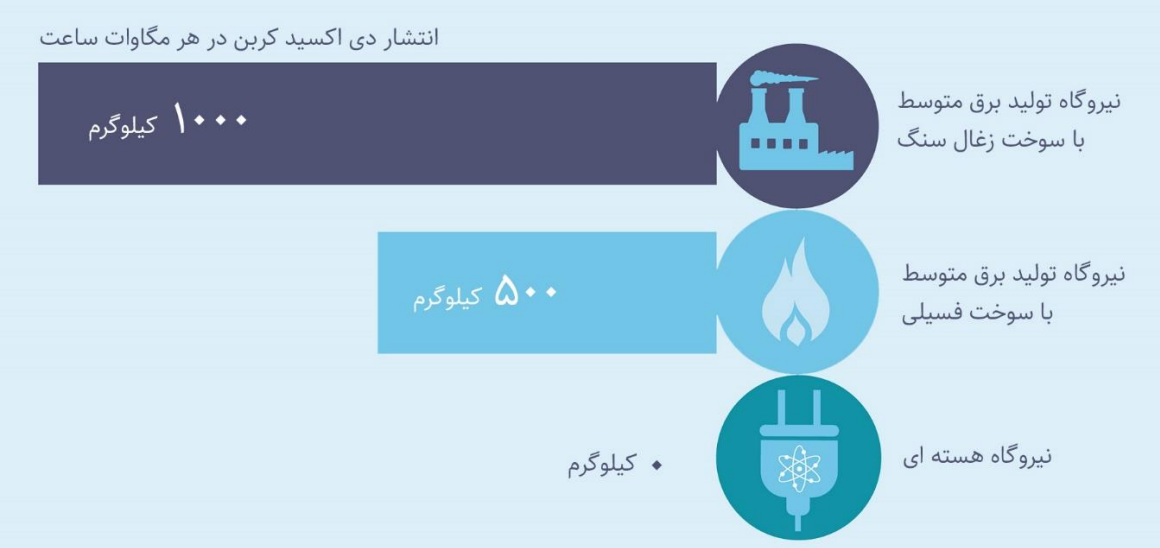
۱. مقدمه

انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی عامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و باعث گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی است. انرژی هسته‌ای کلید تبدیلی است که وابستگی ما به سوخت‌های فسیلی را به آینده انرژی عادلانه‌تر، تمیزتر و ایمن‌تر تغییر می‌دهد (جنسن و همکاران[۱] ۲۰۱۷). از لحاظ چرخه حیات، انرژی هسته‌ای یک فناوری با انتشار کم گازهای گلخانه‌ای است که با انرژی‌های تجدیدپذیر با بهترین عملکرد، قابل مقایسه بوده و اساساً آلاینده‌هایی را که عامل کیفیت نامطلوب آب و هوا و اسیدی شدن آن هستند، منتشر نمی‌کند (جنسن و همکاران، ۲۰۱۷؛ گتی، دارنل و مسی[۲] ۲۰۱۸؛ آورین، او و کامن[۳] ۲۰۱۵؛ یون، کوپیتز، کلیولند، چو و لیون[۴] ۲۰۰۰). غلظت بالای انرژی در واحد جرم سوخت هسته‌ای به معنای نیاز کم به سوخت برای واحد برق و قدرت یا گرما است، بنابراین نیاز به مدیریت حجم کمتری از ضایعات وجود دارد. همچنین می‌توان چندین سال سوخت را ذخیره کرد که به امنیت انرژی نیز کمک می‌کند. انرژی هسته‌ای یک مولد برق پایه بار است، به این معنی که با حداقل توان تولیدی، قادر به تامین برق مورد نیاز در شبکه است، این ویژگی در کشورهای با رشد سریع و صنعتی بسیار مورد نیاز است (بودیتز، راگنر و شهاب الدین[۵] ۲۰۱۸).

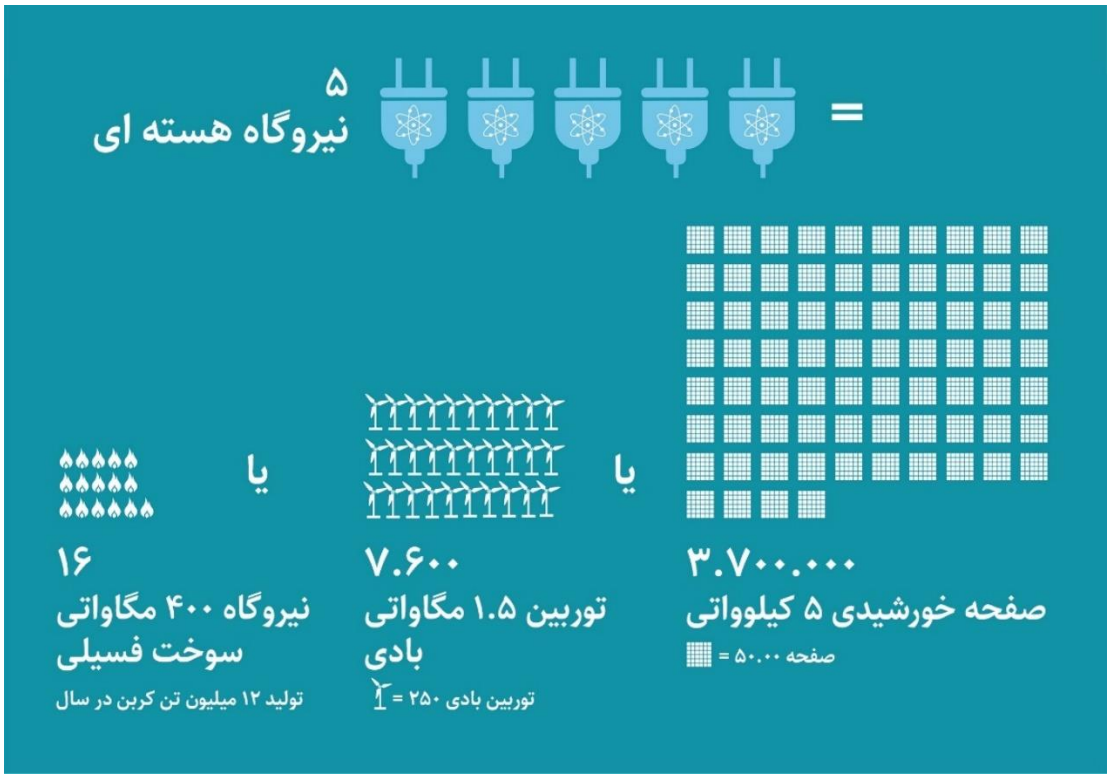
انرژی هسته ای در حال حاضر بیش از ۱۱ درصد برق جهان را تامین می‌کند که شامل ۲۴ درصد برق مورد نیاز اروپا، ۱۹ درصد در ایالات متحده و کمتر از ۱ درصد در آفریقا می‌باشد (نویمان، سورگ، فون هیرشهاوزن و ویلر[۶] ۲۰۲۰). انرژی هسته‌ای یک منبع تولید برق با ایجاد کربن کم و مقدار کم انتشار آلاینده‌های محیطی است (شکل ۱). این صنعت در حال حاضر بزرگترین منبع تولید برق با ایجاد کربن کم در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی[۷] است. آژانس بین المللی انرژی اتمی، برآورد کرده است که هزینه یکسان سازی شده برای تولید برق، که شامل هزینه‌های ساخت، بهره برداری و دفع پسماند است، در نیروگاه‌های تولید برق بادی یا خورشیدی ۲۲ تا ۴۰ درصد بیشتر از هزینه نیروگاه‌های هسته‌ای است (بودیتز، راگنر و شهاب الدین[۸] ۲۰۱۸؛ رم و همکاران[۹] ۲۰۱۸؛ استمفورد[۱۰] ۲۰۲۰)، مگر اینکه جذب و ذخیره‌سازی کربن در مقیاس وسیع سوخت‌های فسیلی از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر باشد (شکل ۲). انرژی هسته‌ای سکوی جهش کشورها به آینده انرژی پاک خواهد بود (جنسن و همکاران، ۲۰۱۷؛ بودیتز، راگنر و شهاب الدین، ۲۰۱۸؛ ماسانت و همکاران[۱۱] ۲۰۱۳).

[۱] Jensen
[۲] Gattie, Darnell, & Massey
[۳] Avrin, He, & Kammen
[۴] Juhn, Kupitz, Cleveland, Cho, & Lyon
[۵] Budnitz, Rogner, & Shihab-Eldin
[۶] Neumann, Sorge, von Hirschhausen, & Wealer
[۷] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
[۸] Budnitz, Rogner, & Shihab-Eldin
[۹] Ram et al.
[۱۰] Stamford
[۱۱] Masanet et al.

www.SID.ir



شکل۱: مقایسه تولید کربن (مرکز راه حل‌های آب و هوا و انرژی،[۱۲] ۲۰۲۱)



شکل۲: مقایسه نیروگاه‌های هسته‌ای با سایر انواع نیروگاه‌های تولید برق (مرکز راه حل‌های آب و هوا و انرژی، ۲۰۲۱)

[۱۲] Center for Climate and Energy Solutions (C2ES)

www.SID.ir

از لحاظ تاریخی، روسیه شوروی پیشگام نیروگاه‌های هسته‌ای تجاری است. اولین نیروگاه هسته‌ای جهان، که توسط دانشمند مشهور روسیه شوروی، ایگور واسیلیویچ کورچاتوف[۳]طراحی شده بود، در ۲۷ ژوئن ۱۹۵۴ در اوبنینسک، ۱۱۰ کیلومتری جنوب غربی مسکو راه اندازی شد. ساخت و راه اندازی آن تنها سه سال و نیم طول کشید. این نیروگاه که ۵ مگاوات ظرفیت تولید برق داشته و دارای رآکتور گرافیتی آب سبک بود، در ۲۳ آوریل ۲۰۰۲ پس از انجام ۴۸ سال خدمات بی عیب و نقص، از رده خارج شد. دو سال بعد در آگوست ۱۹۵۶، اولین رآکتور گرافیتی ۵۰ مگاواتی بریتانیا در کالدرهال انگلستان شروع به کار کرد. سه واحد ۵۰ مگاواتی دیگر در کالدرهال در سال‌های ۱۹۵۷، ۱۹۵۸ و ۱۹۵۹ به این مجموعه اضافه شدند. هر چهار واحد در سال ۲۰۰۳ پس از ۴۷ سال عمر مفید تعطیل شدند. این چهار رآکتور در درجه اول برای تولید پلوتونیوم مورد استفاده در سلاح هسته‌ای و در درجه دوم برای تولید برق استفاده می‌شدند (رائو و رائو،[۱۴]۲۰۰۸). یک سال بعد، در ۲۳ دسامبر ۱۹۵۷، اولین نیروگاه هسته‌ای رآکتور آب سبک تحت فشار[۵]با توان ۶۸ مگاوات تامین برق شبکه در شیپینگ پورت پنسیلوانیا در ایالات متحده راه اندازی شد. این نیروگاه پس از حدود ۲۷ سال تولید برق در اکتبر ۱۹۸۲ متوقف شد (یوسکو و پارسونز،[۱۶] ۲۰۰۹). این مرحله اولیه با رشد سریع تولید انرژی هسته‌ای در کشورهای توسعه یافته عمدتا در اروپا و آمریکای شمالی دنبال شد.

از ۳۲ کشوری که نیروگاه‌های هسته‌ای در آنها فعالیت می‌کنند، فقط فرانسه، اسلواکی و اوکراین از آنها به عنوان بزرگترین منبع تامین برق استفاده می‌کنند (جدول ۱). سایر کشورها دارای ظرفیت قابل توجهی از تولید انرژی هسته‌ای هستند (آژانس بین المللی انرژی اتمی،[۱۷]۲۰۲۰). تا کنون بزرگترین تولیدکنندگان برق هسته‌ای ایالات متحده با ۷۸۹,۹۱۹ گیگاوات ساعت برق هسته‌ای و چین با ۳۴۴,۷۴۸ گیگاوات ساعت بر ساعت در سال ۲۰۲۰ هستند (آژانس بین المللی انرژی اتمی، ۲۰۲۰). تا دسامبر ۲۰۲۰، ۴۴۸ رآکتور با ظرفیت خالص ۳۹۷,۷۷۷ مگاوات در حال فعالیت هستند و ۵۱ رآکتور با ظرفیت خالص ۵۳,۹۰۵ مگاوات در حال ساخت است. از رآکتورهای در حال ساخت، ۱۳ رآکتور با ۱۲,۵۶۵ مگاوات در چین و ۱۰ رآکتور با ظرفیت ۴,۱۹۴ مگاوات در هند هستند (آژانس بین المللی انرژی اتمی، ۲۰۲۰ ب).

کشور	رآکتورها		ظرفیت خالص کل (مگاوات بر ساعت)	برق تولید شده (گیگاوات بر ساعت)	سهم از تولید برق
	عملیاتی	درحال ساخت			

[۳] Igor Vasilyevich Kurchatov
[۱۴] Rao & Rao
[۱۵] Pressurized Light Water Reactor (PLWR)
[۱۶] Joskow & Parsons
[۱۷] International Atomic Energy Agency (IAEA)

www.SID.ir

ایالات متحده	۹۶	۲	۹۸،۱۵۲	۷۸۹،۹۱۹	٪۱۹,۷
فرانسه	۵۸	۱	۶۳،۱۳۰	۳۳۸،۶۷۱	٪۷۰,۶
چین	۵۰	۱۳	۴۷،۵۲۸	۳۴۴،۷۴۸	٪۴,۹
ژاپن	۳۳	۲	۳۱،۶۷۹	۴۳،۰۹۹	٪۵,۱
روسیه	۳۹	۳	۲۹،۵۰۳	۲۰۱،۸۲۱	٪۲۰,۶
کره جنوبی	۲۴	۴	۲۳،۱۵۰	۱۵۲،۵۸۳	٪۲۹,۶
کانادا	۱۹	۰	۱۳،۶۲۴	۹۲،۱۶۶	٪۱۴,۶
اوکراین	۱۵	۲	۱۳،۱۰۷	۷۱،۵۵۰	٪۵۱,۲
انگلستان	۱۵	۲	۸،۹۲۳	۴۵،۶۶۸	٪۱۴,۵
آلمان	۶	۰	۸،۱۱۳	۶۰،۹۱۸	٪۱۱,۳
سوئد	۷	۰	۷،۷۶۳	۴۷،۳۶۲	٪۲۹,۸
هند	۲۳	۱۰	۷،۴۸۰	۴۳،۰۲۹	٪۳,۱
اسپانیا	۷	۰	۷،۱۲۱	۵۵،۸۲۵	٪۲۲,۲
بلژیک	۷	۰	۵،۹۴۲	۳۲،۷۹۳	٪۳۹,۱

www.SID.ir

جمهوری چک	۶	۰	۳،۹۳۴	۲۸،۳۷۲	٪۳۷,۳
تایوان	۴	۲	۳،۸۴۴	۳۰،۳۴۲	٪۱۲,۷
سوئیس	۴	۰	۲،۹۶۰	۲۳،۰۴۹	٪۳۲,۹
فنلاند	۴	۱	۲،۷۹۴	۲۲،۳۵۴	٪۳۳,۹
بلغارستان	۲	۰	۲،۰۰۶	۱۵،۹۳۸	٪۴۰,۸
مجارستان	۴	۰	۱،۹۰۲	۱۵،۱۷۹	٪۴۸,۰
برزیل	۲	۱	۱،۸۸۴	۱۳،۲۴۴	٪۲,۱
آفریقای جنوبی	۲	۰	۱،۸۶۰	۱۱،۶۱۶	٪۵,۹
اسلواکی	۴	۲	۱،۸۳۷	۱۴،۳۵۷	٪۵۳,۱
آرژانتین	۳	۱	۱،۶۴۱	۱۰،۰۱۲	٪۷,۵
مکزیک	۲	۰	۱،۵۵۲	۱۰،۸۶۴	٪۴,۹
امارات متحده عربی	۱	۳	۱،۳۴۵	۱،۵۶۲	٪۱,۱
پاکستان	۵	۱	۱،۳۱۸	۹،۶۳۹	٪۷,۱
رومانی	۲	۰	۱،۳۰۰	۱۰،۵۷۵	٪۱۹,۹

www.SID.ir

بلاروس	۱	۱	۱،۱۱۰	۳۳۸	٪۱,۰
ایران	۱	۱	۹۱۵	۵،۷۹۲	٪۱,۷
اسلوونی	۱	۰	۶۸۸	۶،۰۴۱	٪۳۷,۸
هلند	۱	۰	۴۸۲	۳،۸۸۶	٪۳,۲
ارمنستان	۱	۰	۴۱۵	۲،۵۵۲	٪۳۴,۵
مصر	۰	۴	۰	۰	۰
بنگلادش	۰	۲	نامشخص	نامشخص	نامشخص
ترکیه	۰	۳	نامشخص	نامشخص	نامشخص
جمع جهانی	**۴۴۸**	**۵۵**	**۳۹۷،۷۷۷**	**۲،۵۵۳،۲۰۰**	

جدول۱: وضعیت تولید انرژی هسته‌ای کشورهای جهان در سال ۲۰۲۰ (آژانس بین المللی انرژی اتمی، ۲۰۲۰)

۲. رآکتورهای انرژی هسته‌ای در کشورهای در حال توسعه

افزایش تقاضای برق، رفاه اقتصادی و امنیت انرژی، باعث می‌شود کشورهای در حال توسعه خصوصا کشورهای آسیایی مانند چین، هند، پاکستان، ترکیه و بنگلادش به دنبال انرژی هسته‌ای برای تولید برق به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی باشند. در حال حاضر ۲۱ کشور در حال توسعه یا ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای و یا در مرحله نهایی برنامه ریزی برای نیروگاه-های هسته‌ای هستند. تولید برق از طریق رآکتور هسته‌ای نگرانی‌هایی در مورد مسائل ایمنی، مدیریت پسماند رادیواکتیو، پرتوهای هسته‌ای، نیروی انسانی متخصص و غیره را به همراه دارد. کشورهای در حال توسعه سعی دارند با آغاز همکاری

www.SID.ir

نزدیک با تولیدکنندگان رآکتورهای هسته‌ای و آژانس بین المللی انرژی اتمی در دستیابی به ایمنی، امنیت و ثبات در مراحل ساخت و بهره برداری از نیروگاه‌های هسته‌ای به رفع این نگرانی‌ها بپردازند (سها[۱۸]۲۰۰۳؛ رائو و رائو، ۲۰۰۸).

کشورهای توسعه یافته آسیا مانند ژاپن، کره جنوبی و تایوان در حال حاضر از فناوری هسته‌ای و رآکتورهای پیشرفته برای تولید برق برخوردارند. چین با بیش از ۱۳ نیروگاه هسته‌ای جدید در حال ساخت، علاوه بر ۵۰ رآکتور هسته‌ای موجود، پیشرو در سطح جهانی است. هند، پاکستان، بنگلادش، ایران، ترکیه و امارات متحده عربی همگی دارای رآکتور هسته‌ای در حال ساخت هستند. علاوه بر این، چندین کشور دیگر از آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی مانند ویتنام، اندونزی، تایلند، فیلیپین، عربستان سعودی، ازبکستان، مصر، اردن، کنیا، نیجریه و بولیوی در حال برنامه ریزی برای تولید رآکتورهای هسته‌ای برای تولید برق هستند (آژانس بین المللی انرژی اتمی، ۲۰۲۰). به دلیل محدودیت دسترسی به اورانیوم و فناوری‌های مرتبط، هند و چین بر سوخت توریم برای نیروگاه‌های هسته‌ای تمرکز کرده‌اند. توریم در طبیعت بسیار بیشتر از اورانیوم یافت می‌شود و در هند و چین موجود است. امروزه چین و هند در زمینه تحقیق و توسعه رآکتورهای هسته‌ای مبتنی بر توریم سردمداری می‌کنند (زو و همکاران[۱۹]۲۰۲۰). از آنجایی که در مقایسه با فناوری‌های سوخت‌های فسیلی، انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر کیلووات ساعت نیروگاه هسته‌ای تقریباً ۱۴ برابر کمتر بوده و هزینه تولید برق توسط این نیروگاه‌ها نسبتاً ارزان تر است، اکثر کشورهای در حال توسعه تمایل به داشتن نیروگاه‌های هسته‌ای برای تولید تقریباً بدون گازهای گلخانه‌ای دارند (ویرگز، وانگ، و پاتینیو ایچورریک،[۲۰]۲۰۲۱).

علاوه بر هزینه هنگفت، پرسنل فنی و مدیریتی ماهر نیز برای برنامه ریزی، طراحی، ساخت و راه اندازی نیروگاه هسته‌ای مورد نیاز است. در حال حاضر، اکثر کشورهای در حال توسعه به جز چین، هند و ایران، فاقد منابع انسانی ماهر برای اداره نیروگاه‌های هسته‌ای هستند. این امر کشورهای در حال توسعه هسته‌ای را وادار می‌کند تا برای طراحی، ساخت، بهره برداری و آموزش منابع انسانی به فروشندگان رآکتورهای هسته‌ای تکیه کنند (جنسن اریکسن،[۲۱]۲۰۲۰). این وابستگی نه تنها هزینه‌ها را افزایش می‌دهد بلکه مسائل مختلف انطباق، ضمانت و ایمنی صنعتی را نیز به چالش می‌کشد.

۳. توسعه منابع انسانی نیروگاه هسته‌ای در کشورهای در حال توسعه

یکی از موضوعات مهم گسترش سریع رآکتورهای هسته‌ای در کشورهای در حال توسعه، کمبود شدید منابع انسانی فنی و مدیریتی است. انتخاب منابع انسانی و توسعه مهارت‌های نیروگاه‌های هسته‌ای در هر کشوری به ویژه کشورهای تازه وارد یک چالش است. راهبرد توسعه منابع انسانی در ارتباط با صنعت انرژی هسته‌ای باید دستور کار حاکمیت و موسسات آموزشی را به خوبی برنامه ریزی و ارائه دهد (پورتین، لیبناسو، و کلینگ،[۲۲]۲۰۲۰؛ قنبری، ربیعی و نعمت اللهی، ۱۳۹۸). عمر عملیاتی نسل سوم رآکتورها و نیروگاه‌های هسته‌ای بیش از ۸۰ سال است. به همین دلیل است که یک برنامه بلندمدت توسعه منابع انسانی

[۱۸] Saha
[۱۹] Zou et al.
[۲۰] Virguez, Wang, & Patiño-Echeverric
[۲۱] Jensen-Eriksen
[۲۲] Porthin, Liinasuo, & Kling

www.SID.ir

پایدار از اهمیت بالایی برخوردار است. برای مدیریت کارآمد و موثر منابع انسانی، آمادگی برای توسعه تخصص لازم است (سمنوف[۲۳]،۲۰۲۱). برنامه ریزی نیروی کار باید دارای شرایط زیر باشد: الف) ارزیابی وضعیت فعلی نیروی کار و میزان استفاده موثر از آن برای راه اندازی و بهره برداری از نیروگاه هسته‌ای، ب) ارائه یک ساختار نظام‌مند برای ارزیابی طرح های مختلف توسعه و پیشرفت منابع انسانی، ج) شناسایی شکاف‌های شایستگی نیروی انسانی موجود و آینده، د) تدوین استراتژی‌های بلند مدت استخدام مبتنی بر شایستگی، ه) ارائه مسیرهای شغلی مشخص، مشوق‌ها و بسته‌های پاداش رقابتی برای حفظ نیروی کار (کهار، مصطفی، و سلیم[۲۴]،۲۰۱۷؛جول[۲۵]،۲۰۱۱).

روند استخدام برای کارهایی مانند عملیات، مهندسی رآکتور و ایمنی در برابر پرتو، ممکن است چندین سال قبل از نیاز فرد به این موقعیت آغاز شود (کهار، مصطفی، و سلیم، ۲۰۱۷؛ آژانس بین المللی انرژی اتمی، ۲۰۱۱). جدول۳ عملکردهای منتخب در نیروگاه هسته‌ای را با الزامات طولانی مدت برای آموزش نشان می‌دهد. این داده‌ها توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی (۲۰۱۱) و بر اساس الزامات آموزشی آنها از ۶۷ نیروگاه هسته‌ای در ایالات متحده نمونه برداری شده است.

وظیفه کار هسته ای	مسئولیت شغلی	زمان مورد نیاز برای آموزش
مدیریت پروژه	• مسئول فرایند مناقصه‌ها و قراردادها • کنترل و نظارت بر پیمانکاران و اجرای طراح‌های داخلی • تعیین و نظارت بر مراحل مهم پروژه	۳ سال
نگهداری، ساخت و ساز	• تعمیر و نگهداری واحد تولید برق • مسئول توسعه منابع انسانی و مستندات کاری	۳ سال کارآموزی ۵ سال آموزش برنامه ریزی
بهره برداری	• کارکنان رسمی: ناظران و مدیران مسئول عملکرد سامانه-های زباله‌های اولیه، ثانویه و سیال • کارکنان غیر رسمی: کارکنان عملیات به عنوان مستند سازان، برنامه ریزان و هماهنگ کننده‌ها، متخصصان فنی و هماهنگ کننده‌های آموزشی	رسمی: ۲ تا ۵ سال غیر رسمی: ۶ تا۱۰سال
مهندسی رآکتور	• تجزیه و تحلیل عملکرد سوخت و نظارت بر عملکرد اصلی • راهنمای فنی عملیات هنگام سوخت گیری، فعال سازی و غیرفعال سازی	۲ سال
سوخت‌های هسته‌ای	• انجام تجزیه و تحلیل هسته، ارزیابی ایمنی بارگذاری مجدد، طراحی بارگذاری مجدد و تجزیه و تحلیل حرارتی، هیدرولیکی و ناپایدار • مسئول مدیریت سوخت هسته‌ای، صدور مجوز و خرید	۵ سال

[۲۳] Semenov

[۲۴] Kahar, Mostafa, & Salim

[۲۵] Jewell

www.SID.ir

مهندسی پرتونگاری	• برنامه ریزی و کنترل تشعشعات تا حد امکان[۲۶] • محاسبه دوز تابش و محافظت و بررسی مجوزهای تابش	۵ سال
مدیریت خاموشی	• برنامه ریزی و هماهنگی کلیه فعالیت‌های قطع برق • مرکز تماس مرکزی برای سوخت گیری، نگهداری و مدیریت خاموشی اجباری	۵ سال
بررسی ایمنی هسته‌ای	• مسئول فعالیت‌های بازبینی ایمنی درون و خارج از محدوده، مانند ناهنجاری‌های عملکردی، مجوز و تغییرات مشخصات فنی و برنامه عملکرد انسانی	۵ سال
کنترل کیفیت	• اجرای برنامه کنترل کیفیت استاندارد تایید شده از طریق ممیزی‌ها و نظارت‌های دوره‌ای • ایجاد سیاست کنترل کیفیت، توسعه روش‌های کیفیت و بررسی خودارزیابی‌های سازمانی	۶ سال
آموزش	• ارائه آموزش رسمی برای کارکنان و مربیان هسته‌ای • هماهنگی برنامه‌های آموزشی و شبیه سازها	۵ سال سابقه کار

جدول۲: انواع مشاغل و مدت زمان آموزش مورد نیاز برای کار در نیروگاه هسته‌ای (آژانس بین المللی انرژی اتمی، ۲۰۱۱؛ کهار، مصطفی، و سلیم، ۲۰۱۷)

طبق استانداردهای کشورهای توسعه یافته، تعداد نیروهای متخصص فنی مورد نیاز برای نیروگاه هسته‌ای دو واحدی حدود ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ نیروی تخمین زده می شود (سمنوف، ۲۰۲۱). همچنین، این کارکنان باید از صلاحیت بالایی برخوردار باشند تا اطمینان حاصل شود که واحد مربوطه به شیوه‌ای ایمن توسط پرسنل بسیار ماهر کار می‌کند. برای یک کشور تازه وارد مانند بنگلادش و نیروگاه هسته‌ای روپور[۲۷]در پابنا، تعداد پرسنل ماهر از نظر فنی باید بیش از ۲۰۰۰ نفر باشد. برای برآوردن این انتظارات و الزامات سختگیرانه، برنامه ریزی نیروی کار برای نیروگاه هسته‌ای باید با دقت در مراحل اولیه برنامه توسعه منابع انسانی مورد بررسی و طراحی قرار گیرد (ویلیامز[۲۸]، ۲۰۱۹). رویکردهای متعددی در زمینه توسعه منابع انسانی وجود دارد که بدون تجربه در زمینه انرژی هسته‌ای قابل اجرا هستند. این موارد شامل انجام مطالعات امکان سنجی و معیارهای مقایسه‌ای، تهیه طرح توسعه بلندمدت منابع انسانی و مدیریت نیروی کار است. اما افزایش ایمنی در قبال قرار گرفتن در معرض انرژی هسته‌ای برای کارکنان سازمانی، مهندسی فنی عمومی و سطح بالا، مستلزم شرکت در دوره‌های آموزش انرژی هسته‌ای و بازدیدهای تجربی از صنایع هسته‌ای است. از جمله نیروگاه‌های هسته ای و نهادهای مرتبط با آموزش مهندسی هسته‌ای و علوم هسته‌ای در داخل و خارج از کشور.

بر اساس دستورالعمل‌های آژانس بین المللی انرژی اتمی، کشوری که هیچ تجربه‌ای در زمینه صنعت هسته‌ای ندارد، از تصمیم اولیه در زمینه دستیابی به فناوری هسته‌ای تا عملیات کامل نیروگاه هسته‌ای، در ۱۵ مرحله حداقل به ۱۵ سال زمان نیاز دارد (شکل۴). تعداد کارشناسان مورد نیاز برای هر چهار مرحله، حداقل ۲۲۰۰ نفر است، شامل: ۱۰۰ کارشناس مربوطه در

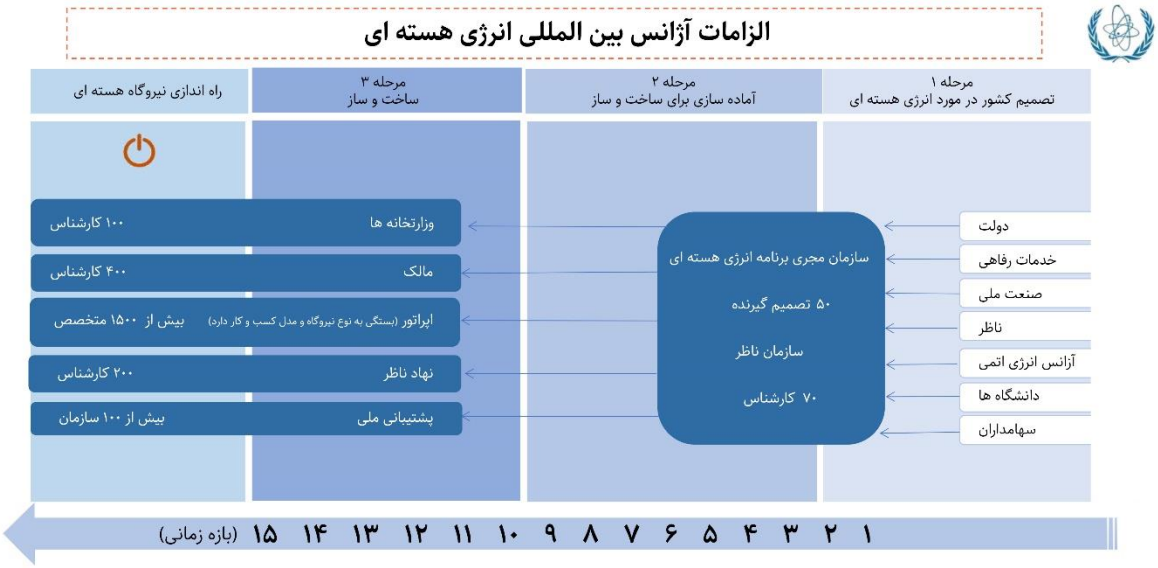
[۲۶] As Low As Reasonably Achievable - Radiation Safety (ALARA)

[۲۷] Rooppur

[۲۸] Williams

www.SID.ir

وزارتخانه، ۱۹۰۰ کارشناس در نیروگاه هسته‌ای و ۲۰۰ کارشناس در نهادهای نظارتی. همانطور که در شکل ۴ و ۵ بیان شده است، طبق رویکرد آموزشی سازمان دولتی انرژی اتمی روسیه[۲]توانایی آموزش و صدور گواهینامه دقیق صلاحیت شغلی به قوانین و مقررات ملی، استاندارد مهندسی و آموزش فنی، آموزش حرفه‌ای، قوانین کار و سازوکارهای صنعتی بستگی دارد (چرنیاخوفسکایا، ۲۰۱۸).



شکل ۳: پرسنل زیرساخت هسته‌ای بر اساس رویکرد خدمات روساتوم (چرنیاخوفسکایا،[۳] ۲۰۱۸)

[۲] Russian State Atomic Energy Corporation (Rosatom)

[۳] Chernyakhovskaya

www.SID.ir

شکل۴: سیستم آموزشی هسته‌ای روسیه (چرنیاخوفسکایا،[۳۱] ۲۰۱۸)

طبق برنامه توسعه مهارتهای روساتوم[۳۲]روسیه، آموزش و پرورش هسته‌ای باید از مدرسه و دبیرستان سوگیری شده و پس از آن در آموزش عالی حرفه‌ای (شامل کارآموزی در کارشناسی، برنامه کارشناسی ارشد و دکترا و ارتقاء مداوم حرفه‌ای) ادامه یابد. توسعه مداوم حرفه‌ای[۳۳]شامل آموزش نظری و آموزش حین کار در سه دسته اصلی است: ۱) دسته مهندس ارشد، ۲) دسته ارشد تعمیر و نوسازی و ۳) دسته مهندسان، بازرسان، سرپرستان و غیره. نقشه راه روساتوم همچنین شامل: الف) مراکز ارزیابی گروه‌های مختلف پرسنل، ب) خدمات پشتیبانی برای توسعه فعالیت‌های منابع انسانی در سازمان هسته‌ای و ج) سیستم مدیریت دانش مطابق با الزامات و قوانین کشور (چرنیاخوفسکایا،[۳۴] ۲۰۱۸). با تجزیه و تحلیل توصیه‌های روساتوم و آژانس بین المللی انرژی اتمی، توسعه منابع انسانی باید شامل سیستم آموزشی موجود در کشورهای تازه وارد، مانند آموزشگاه‌های تخصصی، موسسات پلی تکنیک، آموزشگاه‌های فنی و تکمیلی و دانشگاه‌ها با همکاری وزارت آموزش و پرورش کشور ارائه دهنده فناوری هسته‌ای باشد.

۴. نتیجه‌گیری

انرژی هسته‌ای پس از منابع زغال سنگ، گاز و انرژی آبی، بیش از ۱۱ درصد به تولید برق در سطح جهان کمک می‌کند. اقتصادهای نوظهور، انرژی هسته‌ای را برای تولید نیرو با انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر برای برآوردن تقاضای برق، بیشتر از سایر منابع انرژی ترجیح دهند. با این حال، محدودیت اصلی برای توسعه فناوری هسته‌ای، کمبود شدید منابع انسانی ماهر است. کشور پیشرو هسته‌ای باید دارای برنامه توسعه منابع انسانی ملی در زمینه فناوری هسته‌ای باشد که همه زمینه‌های مربوط به ایمنی هسته‌ای را نیز شامل شود. اجزای اصلی برنامه باید شامل عملیات ایمن، آمادگی و واکنش اضطراری و اثربخشی مقررات باشد. در این زمینه مناسب‌ترین راهکار، ظرفیت سازی در سازوکار موجود مانند مدارس، موسسات آموزش عالی و دانشگاه‌ها است. برنامه توسعه مهارت‌های ملی باید از چهار عنصر اساسی تشکیل شود: توسعه منابع انسانی، آموزش و پرورش، مدیریت دانش و شبکه‌های دانش در سطح ملی، منطقه‌ای و بین المللی. کشور تامین کننده فناوری هسته‌ای باید پایگاه منابع انسانی ملی خود را حفظ کرده و در عین حال بتواند دانش و آموزش را در کنار فناوری صادراتی خود به کشور جدید منتقل کند. با توجه به طول عمر بلند نیروگاه‌های هسته‌ای، سیاست‌های پایدار ملی برای حفظ یکپارچگی و عملکرد برنامه هسته‌ای مهم است.

[۳۱] Chernyakhovskaya

[۳۲] Russian State Atomic Energy Corporation (Rosatom)

[۳۳] Continuous Professional Development (CPD)

[۳۴] Chernyakhovskaya

www.SID.ir

فهرست منابع

Avrin, A.-P., He, G., & Kammen, D. M. (2015). Assessing the impacts of nuclear desalination and geoengineering to address China's water shortages. *Desalination, 360*, 1–7. doi:https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.028

Budnitz, R. J., Rogner, H.-H., & Shihab-Eldin, A. (2018). Expansion of nuclear power technology to new countries–SMRs, safety culture issues, and the need for an improved international safety regime. *Energy policy, 119*, 535–544. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.051

C2ES. (2021). *Nuclear Energy*. Retrieved from Nuclear Energy: https://www.c2es.org/content/nuclear-energy/

Chernyakhovskaya, Y. (2018). *Capacity building in the countries embarking on a nuclear power programme.* International Scientific and Technical Conference. Retrieved from Nuclear Power Reactors in the World: http://mntk.rosenergoatom.ru/mediafiles/u/files/2018/Materials/3_CHernyaxovskaya_Sapacity_building_eng.pdf

Gattie, D. K., Darnell, J. L., & Massey, J. N. (2018). The role of US nuclear power in the 21st century. *The Electricity Journal, 31*, 1–5. doi:https://doi.org/10.1016/j.tej.2018.11.008

IAEA. (2011). *Workforce Planning for New Nuclear Power Programmes.* Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Retrieved from https://www.iaea.org/publications/8488/workforce-planning-for-new-nuclear-power-programmes

IAEA. (2020). *Nuclear Share of Electricity Generation in 2020*. Retrieved from Nuclear Share of Electricity Generation in 2020: https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx

IAEA. (2020b). *Nuclear Power Reactors in the World*. Retrieved from Nuclear Power Reactors in the World: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-40_web.pdf

Jensen, S. Ø., Marszal-Pomianowska, A., Lollini, R., Pasut, W., Knotzer, A., Engelmann, P., . . . Reynders, G. (2017). IEA EBC annex 67 energy flexible buildings. *Energy and Buildings, 155*, 25–34. doi:https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.044

Jensen-Eriksen, N. (2020). Looking for cheap and abundant power: Business, government and nuclear energy in Finland. *Business History*, 1–22. doi:https://doi.org/10.1080/00076791.2020.1772761

Jewell, J. (2011). Ready for nuclear energy?: An assessment of capacities and motivations for launching new national nuclear power programs. *Energy Policy, 39*, 1041–1055. doi:https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.041

Joskow, P. L., & Parsons, J. E. (2009). The economic future of nuclear power. *Daedalus, 138*, 45–59. doi:https://doi.org/10.1162/daed.2009.138.4.45

www.SID.ir

Juhn, P. E., Kupitz, J., Cleveland, J., Cho, B., & Lyon, R. B. (2000). IAEA activities on passive safety systems and overview of international development. *Nuclear Engineering and Design, 201*, 41–59. doi:https://doi.org/10.1016/S0029-5493(00)00260-0

Kahar, W. S., Mostafa, N. A., & Salim, M. F. (2017). Human resource development for nuclear generation–from the perspective of a utility company. *AIP Conference Proceedings, 1799*, p. 020003. doi:https://doi.org/10.1063/1.4972901

Masanet, E., Chang, Y., Gopal, A. R., Larsen, P., Morrow III, W. R., Sathre, R., . . . Zhai, P. (2013). Life-cycle assessment of electric power systems. *Annual Review of Environment and Resources, 38*, 107–136. doi:https://doi.org/10.1146/annurev-environ-010710-100408

Porthin, M., Liinasuo, M., & Kling, T. (2020). Effects of digitalization of nuclear power plant control rooms on human reliability analysis–A review. *Reliability Engineering & System Safety, 194*, 106415. doi:https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.03.022

Ram, M., Child, M., Aghahosseini, A., Bogdanov, D., Lohrmann, A., & Breyer, C. (2018). A comparative analysis of electricity generation costs from renewable, fossil fuel and nuclear sources in G20 countries for the period 2015-2030. *Journal of cleaner production, 199*, 687–704. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.159

Rao, M. V., & Rao, M. P. (2008). Nuclear energy scenario of asian developing countries. *ISEAS-AP 3rd international solar energy conference-Asia Pacific region (ISEAS-AP-08), Sydney*, (pp. 25–28).

Saha, P. C. (2003). Sustainable energy development: a challenge for Asia and the Pacific region in the 21st century. *Energy policy, 31*, 1051–1059. doi:https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00214-8

Stamford, L. (2020). Life cycle sustainability assessment in the energy sector. In *Biofuels for a More Sustainable Future* (pp. 115–163). Elsevier. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815581-3.00005-1

Virguez, E., Wang, X., & Patiño-Echeverri, D. (2021). Utility-scale photovoltaics and storage: Decarbonizing and reducing greenhouse gases abatement costs. *Applied Energy, 282*, 116120. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116120

Zou, C., Yu, C., Wu, J., Cai, X., & Chen, J. (2020). Transition to thorium fuel cycle in a small modular molten salt reactor based on a batch reprocessing mode. *Annals of Nuclear Energy, 138*, 107163. doi:https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.107163

قنبری, ا., ربیعی, ع., و نعمت اللهی, م. (۱۳۹۸). نقش عامل انسانی در بهینه سازی مصرف انرژی در نیروگاه هسته ای بوشهر. *فصلنامه پژوهش های سیاستگذاری و برنامه ریزی انرژی*. بازیابی از https://civilica.com/doc/1234489

www.SID.ir