



نیروگاه‌های کوچک مقیاس تولید برق، جایگزینی مناسب برای ارتقاء سطح پدافند غیرعامل در کشور

بهنام نوذری
اندیشکده راهبردی زیست شهر اسلامی





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





فهرست عناوین

- چکیده: نیروگاه‌های کوچک مقیاس، راهکاری برای تأمین پایدار انرژی ۶
۱. مقدمه: نیروگاه‌های برق و اهمیت توزیع جغرافیایی آن‌ها ۸
۲. مفهوم پدافند غیرعامل و اهمیت آن در طراحی سیستم‌های انرژی ۹
- ۱/۲. تعریف پدافند غیرعامل در سیستم‌های انرژی ۱۰
- ۲/۲. رابطه بین امنیت ملی و طراحی زیرساخت‌های انرژی ۱۱
- ۳/۲. آسیب‌پذیری نیروگاه‌های بزرگ در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی ۱۲
۳. مزایای نیروگاه‌های کوچک مقیاس ۱۲
۵. محاسبات و فضای مورد نیاز نیروگاه‌های کوچک مقیاس ۱۵
۶. بررسی نمونه‌های موفق نیروگاه‌های کوچک مقیاس در ایران و جهان ۱۷
۷. نتیجه‌گیری: جایگاه نیروگاه‌های کوچک در آینده پایداری انرژی کشور ۲۲





چکیده: نیروگاه‌های کوچک مقیاس، راهکاری برای تأمین پایدار انرژی

نیروگاه‌های کوچک مقیاس (Distributed Generation) به واحدهای تولید برق با ظرفیت محدود گفته می‌شود که در نزدیکی محل مصرف قرار دارند. این نیروگاه‌ها با استفاده از فناوری‌هایی مانند گاز طبیعی، انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند خورشیدی و بادی) و موتورهای کوچک دیزلی یا گازی برق تولید می‌کنند.

از مزایای این نیروگاه‌ها می‌توان به کاهش اتلاف انرژی در خطوط انتقال، بهبود پایداری شبکه برق، قابلیت استفاده در شرایط اضطراری و ارتقاء سطح پدافند غیرعامل در اثر توزیع منابع تأمین انرژی اشاره کرد. همچنین، امکان راه‌اندازی سریع و هزینه اولیه پایین‌تر در مقایسه با نیروگاه‌های بزرگ از دیگر مزیت‌های مهم آن‌هاست. نیروگاه‌های کوچک مقیاس، علاوه بر کاهش وابستگی به زیرساخت‌های متمرکز، به‌ویژه برای مناطق دورافتاده یا صنعتی، راهکاری مؤثر برای تأمین پایدار انرژی ارائه می‌دهند.

کلیدواژه‌ها

نیروگاه، کوچک مقیاس، پدافند غیرعامل، انرژی، برق، مدیریت شهری



۱. مقدمه: نیروگاه‌های برق و اهمیت توزیع جغرافیایی آن‌ها

در دنیای امروز، تأمین انرژی پایدار و ایمن به عنوان یکی از نیازهای اساسی جوامع در اولویت قرار گرفته است. با افزایش جمعیت و رشد فناوری، نیاز به تولید برق بیشتر نیز شدت یافته است. به‌طور سنتی، کشورهای جهان برای تأمین انرژی خود از نیروگاه‌های بزرگ مقیاس بهره می‌گیرند که معمولاً در چند نقطه خاص متمرکز هستند. این تمرکز جغرافیایی اگرچه ممکن است در بعضی موارد و به دلیل تولید انبوه، مزایایی به همراه داشته باشد، اما آسیب‌پذیری‌های شدیدی نیز ایجاد می‌کند. بروز هرگونه حادثه یا تهدید - چه طبیعی و چه انسانی - در یک نیروگاه بزرگ می‌تواند منجر به قطعی گسترده برق، اختلال در عملکرد خدمات حیاتی، و حتی تهدید امنیت ملی شود.

در مقابل، پراکندگی نیروگاه‌های کوچک مقیاس در مناطق مختلف کشور، به‌خصوص در شهرها و محله‌ها، می‌تواند راهکاری برای کاهش این ریسک‌ها و افزایش تاب‌آوری سیستم برق‌رسانی باشد. این پراکندگی نه تنها باعث توزیع عادلانه‌تر منابع انرژی در سراسر کشور می‌شود، بلکه در مواجهه با تهدیدات مختلف امکان پایداری و تداوم عملکرد شبکه برق را بالا می‌برد. با افزایش تعداد واحدهای تولیدی کوچک و توزیع آن‌ها در مناطق مختلف، خطرات ناشی از توقف یک نیروگاه بزرگ به‌طور چشمگیری کاهش یافته و دسترسی به برق در شرایط بحرانی برای شهروندان تضمین می‌شود.



برای بهبود پایداری و تاب‌آوری شبکه برق، استفاده از منابع تولید پراکنده (DER) مانند نیروگاه‌های کوچک مقیاس و میکروگریدها، گزینه‌ای مؤثر است. این منابع به دلیل پراکندگی در مقیاس محلی، نقش مهمی در ایجاد توانایی جزیره‌سازی شبکه (islanding) دارند که اجازه می‌دهد شبکه‌های کوچکتر در هنگام قطعی از شبکه اصلی جدا شده و مستقل عمل کنند و به تأمین برق محلی ادامه دهند.

بر اساس گزارش وزارت انرژی ایالات متحده، سیستم‌های تولید پراکنده و میکروگریدها به عنوان راه‌حلی برای کاهش آسیب‌پذیری شبکه در برابر حوادث و تضمین پایداری طولانی‌مدت مطرح می‌شوند. این سیستم‌ها نه تنها می‌توانند به کاهش قطعی‌های گسترده کمک کنند، بلکه امکان بهره‌برداری بهینه از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی را نیز فراهم می‌آورند.^۲

۲. مفهوم پدافند غیرعامل و اهمیت آن در طراحی سیستم‌های انرژی

در طراحی سیستم‌های انرژی، پدافند غیرعامل به عنوان رویکردی حیاتی برای محافظت از زیرساخت‌های اساسی کشور در برابر تهدیدات گوناگون طبیعی و انسانی

^۱ Distributed energy resources

^۲ <https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources>

<https://www.energy.gov/eere/solar/solar-integration-distributed-energy-resources-and-microgrids>



نقش آفرینی می‌کند. هدف اصلی این مفهوم، ایجاد ساختارهایی با حداکثر تاب‌آوری و کمترین آسیب‌پذیری است تا در صورت بروز بحران، امنیت ملی و عملکرد پایدار انرژی حفظ شود. به‌ویژه در حوزه انرژی، تمرکز نیروگاه‌ها در چند نقطه می‌تواند ریسک‌های جدی را به همراه داشته باشد، چرا که تهدیدات، این نقاط حیاتی را هدف گرفته و باعث ایجاد اختلالات گسترده‌ای در مناطق وابسته به این منابع می‌شوند.

۱/۲. تعریف پدافند غیرعامل در سیستم‌های انرژی

پدافند غیرعامل در سیستم‌های انرژی مجموعه‌ای از تدابیر، اصول و راهکارهایی است که بدون استفاده از اقدامات نظامی، با هدف کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های انرژی، به حفظ امنیت و ثبات در برابر تهدیدات می‌پردازد. این رویکرد که یکی از بخش‌های اصلی پدافند ملی محسوب می‌شود، تمرکز ویژه‌ای بر کاهش آثار مخرب ناشی از حوادث طبیعی (مانند زلزله یا سیل) و تهدیدات انسانی (مانند حملات نظامی، سایبری یا خرابکاری‌ها) دارد. پدافند غیرعامل با اتخاذ روش‌هایی همچون پراکندگی جغرافیایی زیرساخت‌ها، کاهش تمرکز در مراکز تولید و توزیع انرژی، و به‌کارگیری سیستم‌های محافظتی غیرفعال، در تلاش است تاب‌آوری این سیستم‌ها را در مواقع بحران افزایش دهد.

از نظر کاربردی، پدافند غیرعامل با پدافند عامل تفاوت‌های عمده‌ای دارد. در حالی که پدافند عامل متکی بر استفاده از ابزارهای دفاعی و امنیتی مستقیم، مانند سلاح‌ها و تجهیزات دفاعی، برای مقابله با تهدیدات است، پدافند غیرعامل از طریق رویکردهای حکمرانی متناسب، راهکارهای مدیریتی، مهندسی و طراحی بهینه برای کاهش خطرات



استفاده می‌کند. این نوع پدافند، به‌ویژه در زمینه سیستم‌های انرژی، به دلیل وابستگی بالای جامعه به انرژی و حساسیت این زیرساخت‌ها در برابر آسیب‌ها، اهمیت فراوانی دارد.

در نهایت، اهمیت استفاده از پدافند غیرعامل در زیرساخت‌های انرژی به تأمین امنیت ملی و تضمین تداوم فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی وابسته است. یک سیستم انرژی پایدار و مقاوم در برابر تهدیدات، علاوه بر افزایش امنیت جامعه، به کاهش وابستگی به منابع خارجی و جلوگیری از وقفه‌های اقتصادی ناشی از قطع انرژی کمک می‌کند و بستر مناسبی برای توسعه پایدار و تداوم استقلال و امنیت ملی را فراهم می‌سازد.

۲/۲. رابطه بین امنیت ملی و طراحی زیرساخت‌های انرژی

امنیت ملی هر کشوری به شدت به پایداری و تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی آن کشور وابسته است، که زیرساخت‌های انرژی یکی از مهم‌ترین این بخش‌ها به‌شمار می‌رود. در کشوری مانند ایران که همواره به‌دلیل موقعیت ژئوپلیتیک و استکبارستیزی خاص خود، هدف فشارها و تهدیدات جهانی بوده، طراحی زیرساخت‌های انرژی با تأکید بر اصول پدافند غیرعامل از اهمیت دوچندانی برخوردار است. تهدیدات خارجی و داخلی، مانند حملات نظامی، سایبری، خرابکاری‌ها و حتی بحران‌های طبیعی، می‌توانند امنیت انرژی را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین، بایستی در طراحی زیرساخت‌های انرژی به گونه‌ای عمل شود که در مقابل این تهدیدات مقاومت لازم را داشته باشند.



به طور کلی، امنیت ملی و پایداری زیرساخت‌های انرژی ارتباطی مستقیم دارند و تمرکززدایی و پراکندگی این زیرساخت‌ها می‌تواند یک راهکار عملی و مؤثر برای حفظ استقلال و مقاومت در برابر تهدیدات باشد.

۳/۲. آسیب‌پذیری نیروگاه‌های بزرگ در برابر تهدیدات طبیعی و انسانی

نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز از نظر پدافند غیرعامل به دلیل تجمع تجهیزات و منابع اصلی در یک مکان خاص، بیشتر در معرض آسیب‌پذیری قرار دارند. حمله به این نیروگاه‌های بزرگ می‌تواند تأثیرات مخربی داشته باشد، زیرا در این شرایط قطع برق و توزیع ناکافی انرژی در مدت‌زمان کوتاهی بر کل منطقه تأثیر می‌گذارد و بازیابی شبکه انرژی را دشوارتر و بسیار زمان‌بر می‌سازد.

۳. مزایای نیروگاه‌های کوچک مقیاس

نیروگاه‌های کوچک مقیاس از دیدگاه پدافند غیرعامل دارای چندین مزیت مهم هستند که نقش حیاتی در کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های انرژی ایفا می‌کنند. این نیروگاه‌ها با پراکندگی جغرافیایی و تولید برق در سطح محله‌ها، به‌ویژه در شهرهای بزرگی مانند تهران، امکان توزیع بهتر منابع انرژی را فراهم می‌کنند. با توزیع این نیروگاه‌ها در فضاهایی مانند سراهای محله، هر محله می‌تواند در تأمین انرژی به‌طور نسبی مستقل شود. این استقلال علاوه بر افزایش تاب‌آوری، به هویت‌بخشی به محلات و کاهش وابستگی آن‌ها به شبکه مرکزی کمک می‌کند، که خود یک دستاورد اجتماعی مهم است.



از دیگر مزایای نیروگاه‌های کوچک، کاهش تجمع آلاینده‌ها در یک نقطه است. برخلاف نیروگاه‌های بزرگ که آلودگی را به‌طور متمرکز ایجاد می‌کند، نیروگاه‌های کوچک مقیاس به کاهش آلودگی محلی کمک کرده و از تأثیرات منفی محیط‌زیستی در سطح کلان جلوگیری می‌کنند.

همچنین، این نیروگاه‌ها امکان استفاده از نیروی کار محلی را نیز فراهم می‌کنند. کارکنان می‌توانند در همان محله یا منطقه مستقر شوند و نیاز به رفت و آمدهای طولانی کاهش می‌یابد، که نه‌تنها موجب صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های حمل و نقل است، بلکه باعث کاهش ترافیک و آلودگی در سطح شهر می‌شود. این رویکرد همچنین به تاب‌آوری شبکه در برابر حملات نظامی، سایبری و حوادث طبیعی کمک می‌کند، زیرا هر واحد تولیدی به‌طور مستقل عمل می‌کند و خرابی یک نیروگاه کوچک تأثیر زیادی بر بقیه سیستم ندارد.

نیروگاه‌های کوچک مقیاس به‌واسطه قرار گرفتن در نزدیکی مصرف‌کنندگان و بهره‌برداری از تکنیک‌های پیشرفته‌تر (به علت مقیاس کوچک) برای کاهش آلودگی و بهره‌وری انرژی، نقش بسیار مهمی در بهبود کیفیت هوا و کاهش تلفات انرژی ایفا می‌کنند. این نیروگاه‌ها به‌دلیل ظرفیت کمتر و تمرکز پراکنده، به‌طور طبیعی آلودگی کمتری نسبت به نیروگاه‌های بزرگ دارند و امکان استفاده از تجهیزات کاهش آلودگی را در سطح محلی و حتی با نظارت اجتماعی ساکنان محل، فراهم می‌آورند.

یکی از مزایای مهم نیروگاه‌های کوچک، امکان استفاده از گرمای جانبی آن‌ها است. در نیروگاه‌های سنتی، بخش زیادی از انرژی (حدود ۵۰ درصد) به صورت گرما به هدر



می‌رود؛ در حالی که با تعبیه سیستم‌های مناسب در نیروگاه‌های کوچک، می‌توان این گرما را در سیستم‌های گرمایش ساختمان‌های محلی بازچرخانی کرد. این بازچرخانی گرما، به‌ویژه در فصول سرد، علاوه بر تامین آب گرم مورد نیاز ساختمان‌ها، می‌تواند بخشی از انرژی مورد نیاز برای گرمایش را نیز فراهم کند. چنین رویکردی موجب کاهش مصرف انرژی در محله‌ها و کاهش آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی خواهد شد، که به بهبود کیفیت هوای محلی کمک می‌کند.

از سوی دیگر، نیروگاه‌های بزرگ که عموماً در حاشیه شهرها قرار دارند، با تولید حجم بالایی از آلاینده‌ها می‌توانند تأثیرات منفی بر کیفیت هوا و محیط‌زیست شهری بگذارند. نیروگاه‌های کوچک اما، به دلیل توزیع مناسب و استقرار در مرکز محلات، آلاینده‌های کمتری تولید کرده و در عین حال نظارت مردمی و مطالبه حفظ سطح آلاینده‌ها در حد طبیعی را نیز ممکن می‌سازند.

نیروگاه‌های کوچک مقیاس نه تنها از نظر زیست‌محیطی و کاهش آلاینده‌ها مزایای چشمگیری دارند، بلکه به کاهش اتلاف انرژی در سیستم توزیع برق نیز کمک می‌کنند. در سیستم‌های متمرکز، بخش قابل توجهی از انرژی تولید شده در مسیر انتقال به محل مصرف، به صورت گرما و تلفات الکتریکی در خطوط توزیع از دست می‌رود که طبق آمارهای ارائه شده توسط وزارت نیرو، عددی بالغ بر ۱۵ درصد را نشان می‌دهد. این اتلاف انرژی به ویژه در شهرهای بزرگ به دلیل طول زیاد شبکه انتقال و تراکم بالای جمعیت قابل توجه است. اما در سیستم توزیع نیروگاه‌های کوچک مقیاس، فاصله بین



تولید و مصرف به حداقل می‌رسد، که باعث می‌شود پرت انرژی در مسیر انتقال تقریباً از بین برود و برق به شکل موثرتری به دست مصرف‌کننده برسد.

به این ترتیب، نیروگاه‌های کوچک با تولید برق در همان محل مصرف، هم بهره‌وری انرژی را افزایش می‌دهند و هم تأثیرات منفی زیست‌محیطی را به میزان چشمگیری کاهش می‌دهند. این رویکرد به شکل محسوسی از آلودگی‌های ناشی از تولید و انتقال برق کاسته و بازده سیستم انرژی کشور را بالا می‌برد.

۵. محاسبات و فضای مورد نیاز نیروگاه‌های کوچک مقیاس

نیروگاه‌های کوچک مقیاس با ظرفیت تولید برق حدود ۳ مگاوات و هزینه اولیه تقریبی ۶۰ میلیارد ریال^۳ می‌توانند در فضایی کوچک و به‌صرفه احداث شوند. با در نظر گرفتن مساحت حدود ۴۰۰ متر مربع، چنین نیروگاهی قابلیت ساخت در سرای محله را دارد.

متوسط مصرف برق در خانوارهای ایرانی در مناطق مختلف و در طول سال متفاوت است. با توجه به گزارش‌های سالانه وزارت نیرو و بررسی‌های آماری، هر خانوار ایرانی به طور متوسط حدود ۲۵۰ کیلووات‌ساعت در ماه مصرف برق دارد. البته این عدد در فصل تابستان به دلیل استفاده از وسایل سرمایشی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و در مناطق گرمسیری حتی تا ۵۰۰ کیلووات‌ساعت یا بیشتر نیز می‌رسد.

^۳ آمار مربوط به هزینه ساخت نیروگاه ثامن در شهر مشهد مقدس در سال ۱۳۹۳ است.



اما برای محاسبه دقیق میزان مصرف برق خانه‌های تحت پوشش این نیروگاه باید با توجه به ضریب هم‌زمانی و زمان اوج مصرف، طراحی‌ها انجام شود لذا محاسبات در مقیاس ساعتی و با توجه به میانگین مصرف انجام شده است.

در ساعات اوج مصرف، متوسط مصرف برق در کاربری مسکونی در ایران به طور میانگین بین ۱,۵ تا ۲ کیلووات در یک ساعت است. این رقم بسته به فصل و شرایط آب‌وهوایی می‌تواند متفاوت باشد؛ برای مثال، در تابستان و زمستان به دلیل استفاده از وسایل سرمایشی و گرمایشی، مصرف به اوج خود می‌رسد و حتی در برخی مناطق ممکن است این رقم به ۳ کیلووات ساعت یا بیشتر هم برسد. در این محاسبات با توجه به تقریبی بودن محاسبات و برآورد اولیه از هزینه‌ها، عدد ۲ کیلووات ساعت را برای ساعت اوج مصرف و ضریب هم‌زمانی در نظر گرفته و محاسبه می‌کنیم.

$$\text{کیلووات ساعت} \frac{3000}{1500 \text{ خانوار}} = \frac{2 \text{ کیلووات ساعت}}{1}$$

بنابراین، یک نیروگاه ۳ مگاواتی به طور تقریبی می‌تواند برق مورد نیاز ۱۵۰۰ خانوار را در طول یک سال تأمین کند. با توجه به اینکه شهر تهران رقمی بالغ بر ۳ میلیون خانوار را در خود جای داده است با احداث حدود ۲۰۰۰ نیروگاه کوچک با این ویژگی‌ها، با بودجه تقریبی ۱۲ همت، امکان تأمین پایدار انرژی در سراسر شهر وجود دارد. البته این

^۴ بر اساس بودجه نیروگاه ساخته شده در مشهد در سال ۱۳۹۳



محاسبه برای زمانی است که تمام نیروگاه‌ها به صورت تمام وقت کار کنند و در عمل عوامل دیگری مثل تعمیرات و نگهداری یا نوسانات در تولید نیز ممکن است در میزان برق تولیدی تاثیر بگذارند. نکته بعدی آنکه می‌توان این طرح را به عنوان یک رویکرد موازی با نیروگاه‌های موجود به پیش برد به این معنا که به مرور و با افزایش سطح مصرف انرژی، به جای افزودن بر تعداد نیروگاه‌های بزرگ در اطراف شهر، با این روش نیروگاه‌های کوچک در محلات احداث شده و به تدریج گسترش یابد. این محاسبات به منظور نمایش امکان‌پذیری فنی از حیث اقتصادی طرح به صورت اولیه انجام شد.

لذا این رویکرد امکان احداث نیروگاه‌های کوچک و کارآمد در نزدیکی مناطق مصرف‌کننده را فراهم می‌کند و این ویژگی به‌ویژه در مناطق شهری که زمین و منابع محدودی دارند، به کاهش نیاز به شبکه‌های انتقال طولانی و در نتیجه کاهش اتلاف انرژی کمک می‌کند.

۶. بررسی نمونه‌های موفق نیروگاه‌های کوچک مقیاس در ایران و جهان

نیروگاه برق ثامن در مشهد یکی از نمونه‌های موفق نیروگاه‌های کوچک مقیاس در ایران است که با توان تولید ۳ مگاوات به بهره‌برداری رسیده است. این نیروگاه از ویژگی‌های خاصی مانند کارایی بالا، کاهش مصرف سوخت، و کاهش آلاینده‌گی بهره می‌برد و به‌ویژه برای تأمین برق و آب گرم شهری در بخش‌های خاص مشهد کاربرد دارد. این پروژه باعث کاهش قابل توجه تلفات انرژی شده و الگوی موفق برای شهرهای



دیگر محسوب می‌شود، زیرا با بهره‌وری و پایداری بیشتری توانسته است انرژی مورد نیاز را در سطح شهری تأمین کند.^۵

نیروگاه‌های کوچک مقیاس در کشورهای مختلف به دلیل مزایای زیست‌محیطی و امنیتی مورد توجه قرار گرفته‌اند.

۱. آلمان

آلمان به عنوان پیشرو در توسعه نیروگاه‌های کوچک، پروژه‌هایی تحت برنامه Energiewende دارد. این نیروگاه‌ها بیشتر بر انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی تمرکز دارند. نیروگاه‌های مقیاس کوچک به مناطق شهری امکان می‌دهند که انرژی مورد نیاز خود را با کمترین وابستگی به نیروگاه‌های بزرگ تأمین کنند و پایداری شبکه را بهبود دهند.

^۵ برای اطلاعات بیشتر، می‌توانید به این لینک‌ها مراجعه کنید:

<https://barghnews.com/fa/news/7704>

<https://www.mehrnews.com/news/2494197>

<https://barghnews.com/fa/news/28037>

<https://www.tasnimnews.com/fa/news/1393/11/23/652591>



آلمان قصد دارد با هدف گذاری برای افزودن ۱۴۰ گیگاوات ظرفیت خورشیدی روی پشت بام ها تا سال ۲۰۳۰، نیازهای انرژی تجدیدپذیر خود را تامین کند. سیاست های تشویقی برای استفاده از سیستم های فوتوولتائیک با ظرفیت کمتر از ۱۰۰ کیلووات و همچنین ساده سازی مدل های فروش مستقیم برق از نیروگاه های کوچک به شبکه، بخش مهمی از برنامه های آلمان در این زمینه است.^۶

۲. آمریکا

در ایالات متحده، پروژه های تولید پراکنده در شهرهایی مانند نیویورک برای تقویت تاب آوری شبکه و کاهش اتلاف انرژی اجرا شده اند. آمریکا همچنین از واحدهای کوچک گازسوز و انرژی های پاک مانند سلول های سوختی در ساختمان ها و مناطق مسکونی بهره می گیرد. این سیستم ها به کاهش هزینه ها و آلودگی و افزایش دسترسی به انرژی کمک کرده اند.

برای نمونه ای از تولید پراکنده در ایالات متحده، پروژه های مقاوم سازی شبکه توزیع برق در نیویورک از جمله پروژه NY Solar Smart Distributed Generation Hub توسط دانشگاه شهری نیویورک (CUNY) به عنوان یکی از گام های مهم در این حوزه مطرح است. این پروژه که پس از طوفان سندی توسعه یافت، بر نصب سامانه های

^۶ https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena_RES-

[Broschuere Energy Solutions - Made in Germany englisch.pdf](#)

<https://www.pv-magazine.com/2020/09/21/germany-could-add-140-gw-of-small-solar-by-2030/>



خورشیدی مقاوم و توزیع انرژی در مراکز حیاتی تمرکز دارد تا از تاب‌آوری شبکه و امنیت انرژی در زمان بحران پشتیبانی کند. این طرح همچنین نقشه‌ای برای اجرای سامانه‌های خورشیدی مقاوم و تولید پراکنده انرژی ارائه می‌دهد و با استفاده از فناوری‌های خورشیدی به بهبود امنیت انرژی و کاهش اتلاف آن در نیویورک کمک کرده است.^۷

۳. ژاپن

پس از زلزله و سونامی ۲۰۱۱ که مشکلات زیادی برای نیروگاه‌های بزرگ ایجاد کرد، ژاپن به توسعه سیستم‌های انرژی پراکنده پرداخت. از این سیستم‌ها برای تأمین برق در ساختمان‌ها، بیمارستان‌ها، و حتی مجتمع‌های مسکونی بهره گرفته شده و این روند همچنان در حال توسعه است تا از انعطاف‌پذیری شبکه و تأمین انرژی پایدار برخوردار شوند.^۸

^۷ <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/06/f64/EEDG-Resilience.PDF>

<https://www.energy.gov/eere/solar/project-profile-city-university-new-york-solar-market-pathways>

^۸ <https://www.power-technology.com/features/resilience-programme-changing-japans-grid/?cf-view>



۴. بریتانیا

در بریتانیا نیز از نیروگاه‌های کوچک مقیاس، به ویژه در مناطق صنعتی، برای تولید همزمان برق و حرارت استفاده می‌شود که به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری انرژی کمک کرده است. این کشور همچنین به توسعه نیروگاه‌های کوچک بادی و خورشیدی در مناطق روستایی و حومه‌ای پرداخته که مزایای اجتماعی و محیطی فراوانی دارد.

برای استفاده از نیروگاه‌های کوچک مقیاس تولید همزمان برق و حرارت (CHP) در بریتانیا، مطالعات موردی متعددی نشان‌دهنده مزایای این روش‌ها هستند. این نیروگاه‌ها در مناطق صنعتی و مسکونی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و موجب کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری انرژی، و کاهش انتشار کربن شده‌اند. برای نمونه، پروژه‌ای در شهر کاونتری از این فناوری برای تولید حرارت و برق مورد نیاز ساختمان‌های شهری بهره برده که موجب کاهش ۸۹ درصدی انتشار کربن در مقایسه با سیستم‌های مرسوم شده است. همچنین دانشگاه کوئینز بلفاست با استفاده از این فناوری به کاهش هزینه‌های انرژی و کاهش انتشار کربن دست یافته است.^۹

در تجارب جهانی نیروگاه‌های کوچک مقیاس، اغلب نیروگاه‌هایی که در مناطق شهری توسعه یافته‌اند، از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد، خورشید و در برخی موارد سلول‌های

^۹ <https://www.gov.uk/government/publications/combined-heat-and-power-case-studies/combined-heat-and-power-case-studies>

<https://www.ctc-n.org/technologies/small-scale-combined-heat-and-power>



سوختی استفاده کرده‌اند که به کاهش آلاینده‌گی کمک می‌کنند. با این حال، نمونه‌هایی نیز وجود دارد مانند بریتانیا که از نیروگاه‌های گازسوز با آلاینده‌گی کمتر بهره برده‌اند و این نیروگاه‌ها با بازدهی بالا و انتشار کنترل‌شده، گزینه‌ای موثر در برخی مناطق به‌شمار می‌روند. همچنین، طراحی سبد انرژی شهری متشکل از منابع مختلف تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر می‌تواند به افزایش ضریب پدافند غیرعامل و تاب‌آوری شبکه انرژی کمک کند؛ چرا که ترکیب این منابع، آسیب‌پذیری شهرها را در برابر قطع احتمالی برق کاهش می‌دهد و پایداری انرژی را تقویت می‌کند.

این نمونه‌ها نشان می‌دهند که توسعه نیروگاه‌های کوچک مقیاس با کاهش ائتلاف انرژی و افزایش تاب‌آوری، می‌تواند به عنوان راهکاری مطمئن و پایدار برای تأمین انرژی در جهان و به‌خصوص در کشورهایی که نیاز به افزایش امنیت انرژی دارند، مؤثر باشد.

۷. نتیجه‌گیری: جایگاه نیروگاه‌های کوچک در آینده پایداری انرژی کشور

نیروگاه‌های کوچک مقیاس به عنوان جایگزینی پایدار و ایمن برای نیروگاه‌های بزرگ، نقش حیاتی در آینده تأمین انرژی کشور دارند. این نیروگاه‌ها نه تنها به کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها کمک می‌کنند، بلکه با توزیع منابع انرژی و افزایش تاب‌آوری، امنیت ملی را نیز تقویت می‌کنند. با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین و تأسیس این نیروگاه‌ها در سطح محله، می‌توان به مدیریت بهینه انرژی و کاهش آلودگی زیست‌محیطی دست یافت. بنابراین، توسعه نیروگاه‌های کوچک مقیاس باید به عنوان یکی از اولویت‌های کلیدی در سیاست‌گذاری‌های انرژی کشور مطرح شود.

