ORIGINAL ARTICLE

The Prospect of SMR Technology in the Remote Areas of Bangladesh for Nuclear Electricity Production

A.F.M. Mizanur Rahman[1], Shanjib Karmaker[1], K.M. Jalal Uddin Rumi[1], Rahnuma Siddique[1], Farhana Islam[1], Md. Rubel Ali Biswash[2], Md. Abdur Razzaque[1], Abid Imtiaz[3,*]

[1]Construction of Rooppur Nuclear Power Plant Project, Bangladesh Atomic Energy Commission, Bangladesh; [2]Atomic Energy Centre, Bangladesh Atomic Energy Commission, Bangladesh; [3]Nuclear Safety, Security and Safeguards Division, Bangladesh Atomic Energy Commission, Bangladesh

**Corresponding Author: Abid Imtiaz,*
Corresponding Email: dr.abidz@gmail.com

Received: 8/27/2023 / Accepted: 10/9/2023

https://doi.org/10.5281/zenodo.10157402

ABSTRACT

Small Modular Reactor (SMR) is an environment-friendly, safe, affordable, and sustainable technology for the production of nuclear electricity alongside large conventional Nuclear Power Plant (NPP)>300 MW(e). In recent years, the potential application of SMR technology has been at the center of interest around the world. In this respect, research and development are being carried out on the concept and design of an SMR for the production of nuclear electricity. As it is smaller in size ≤300 MW(e), the construction area, expenses, time for the completion and regulatory obligations are comparatively less than the existing Nuclear Power Plant >300 MW(e). Moreover, the lifetime of an SMR is much longer than that of a conventional power plant. As a part of the Power System Master Plan (PSMP)-2016 of Bangladesh, the construction of two units of NPP at Rooppur, with a capacity of 1200 MWe each, is at the final stage. In addition to the construction of conventional power plants, the government has a plan to establish new Nuclear Power Plants under the Power System Master Plan, particularly in the remote areas of the southern part of Bangladesh. In anticipation of sustainable development and elimination of differences in regional development in Bangladesh, the remote areas where transmission lines and grid-capacities are inadequate for large power plants, instead of constructing the conventional short-lived, large power plant, construction of SMR can be considered as an effective and viable option for supplying electricity to industry, business, and private homes.

Keywords: NPP, SMR, conventional power plant, remote areas

Cite this article as: *Rahman, A.F.M.M., Karmaker, S., Rumi, K.M.J.U., Siddique, R., Islam, S., Biswash, M.R.A., Razzaque, M.A., Imtiaz, A. 2023, Prospect of SMR Technology in the Remote Areas of Bangladesh for Nuclear Electricity Production, Bangla J. Interdisciplinary Sci., 1 (2); 15-28.*

বাংলাদেশের প্রত্যন্ত অঞ্চলে পারমাণবিক বিদ্যুৎ উৎপাদনে এসএমআর প্রযুক্তির সম্ভাবনা

সারাংশ

স্মল মডিউলার রিয়্যাক্টর (এসএমআর) প্রচলিত বৃহৎ আকারের >৩০০ MW (e) পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্রের ন্যায় বিদ্যুৎ উৎপাদনে পরিবেশ-বান্ধব, নিরাপদ, টেকশই ও সাশ্রয়ী। বিগত বছরগুলোতে এসএমআর প্রযুক্তির সম্ভাব্য ব্যবহার পৃথিবীব্যাপী পারমাণবিক প্রযুক্তিবিদদের কৌতুহলের কেন্দ্রে আবর্তিত হচ্ছে। এই আলোকে, পারমাণবিক বিদ্যুৎ উৎপাদনের জন্য এসএমআর-এর কনসেপ্ট ও ডিজাইনের উপর বিস্তর গবেষণা ও উন্নয়নমূলক কর্মকান্ড চলছে। এসএমআর আকারে ছোট <৩০০ MW (e) হওয়ায় তা স্থাপনের জন্য জায়গা, খরচ ও সময় এবং রেগুলেটরি বাধ্যবাধকতা বিদ্যমান পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্রের >৩০০ MW (e) চেয়ে তুলনামূলকভাবে কম। উপরন্তু, এসএমআর-এর লাইফ-টাইম প্রচলিত বিদ্যুৎকেন্দ্রের চেয়ে অনেক বেশী। বাংলাদেশের Power System Master Plan (PSMP)-২০১৬-এর অংশ হিসেবে রূপপুরে ১২০০ MW (e) ক্ষমতা সম্পন্ন দুটি পারমাণবিক চুল্লীর নির্মাণ কার্যক্রম শেষ পর্যায়ে রয়েছে। উপরন্তু, প্রচলিত বিদ্যুৎকেন্দ্র নির্মাণের পাশাপাশি সরকার PSMP-২০১৬-এর আধীনে নতুন পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র, বিশেষ করে দেশের দক্ষিণাঞ্চলের প্রত্যন্ত এলাকায় পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র নির্মাণের পরিকল্পনা করছে। বাংলাদেশের প্রত্যাশিত টেকশই উন্নয়নে ও আঞ্চলিক উন্নয়ন বৈষম্য দূরীকরণে, যে সকল প্রত্যন্ত অঞ্চলে বড় বিদ্যুৎকেন্দ্রের উপযোগী পর্যাপ্ত ট্রান্সমিশন লাইন ও গ্রিড-সক্ষমতা নেই, সেখানে প্রচলিত স্বল্পমেয়াদী, বড় বিদ্যুৎকেন্দ্র নির্মাণের পরিবর্তে এসএমআর স্থাপন শিল্প-কারখানা, ব্যবসা-প্রতিষ্ঠান ও ঘর-বাড়িতে বিদ্যুৎ সরবরাহের একটি ফলপ্রসু পন্থা হিসেবে বিবেচিত হতে পারে।

মূল শব্দগুলি: এনপিপি, এসএমআর, প্রচলিত বিদ্যুৎকেন্দ্র, প্রত্যন্ত অঞ্চল

ভূমিকা

উন্নয়নশীল দেশগুলির জন্য এসঅএমআর একটি বিশাল সম্ভবনাময় প্রযুক্তি। বিভিন্ন আর্থ-সামাজিক সেকটরগুলির উন্নয়নের জন্য এই প্রযুক্তি অত্যন্ত সফল ও লাগসই মাধ্যম হয়ে উঠতে পারে; যেমন অর্থনৈতিক প্রবৃদ্ধির হার বৃদ্ধি, প্রতিটি অর্থনৈতিক সেক্টরের গুণগত মান উন্নয়ন ও উৎপাদন বৃদ্ধি, রপ্তানির ক্ষেত্রসমূহের সম্প্রসারণ, শহরের উন্নয়নের সাথে সাথে গ্রামকেন্দ্রীক উন্নয়ন এবং দেশের অঞ্চলভেদে উন্নয়ন

বৈষম্য দূরিকরণ ও অঞ্চলভেদে সুষম ও টেকসই উন্নয়ন, ইত্যাদি। এজন্য পর্যাপ্ত বিদ্যুৎ উৎপাদন ও নিরবিচ্ছিন্ন সরবরাহ নিশ্চিত করা আবশ্যক। বর্তমানে দেশের বিদ্যুৎ উৎপাদন ও সরবরাহ বিদ্যুতের চাহিদার তুলনায় অপ্রতুল। ফলে, লোড শেডিং এর ন্যায় অনকাঙ্ক্ষিত ব্যবস্থা গ্রহণ করতে হয়, ফলে অর্থনৈতিক কর্মকান্ড বিঘ্নিত হয়।

বিদ্যুৎ উৎপাদনে পারমাণবিক প্রযুক্তি একটি পরিবেশ বান্ধব, সাশ্রয়ী, টেকশই ও নিরাপদ প্রযুক্তি হিসাবে বিশ্বব্যাপী বিবেচিত ও ব্যবহৃত হয়ে আসছে। বেজ লোড (Base load) বিদ্যুৎ উৎপাদন এবং দেশের জ্বালানী নিরাপত্তা নিশ্চিতকরণের ক্ষেত্রে পারমাণবিক প্রযুক্তিকে পিএসএমপি-২০১৬ তে অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে। উল্লেখ্য যে, বিদ্যুৎ উৎপাদনে ইতোপূর্বে গৃহীত সকল পরিকল্পনায় পারমাণবিক বিদ্যুৎ উৎপাদনের বিষয়টি অন্তর্ভুক্ত ছিল। পিএসএমপি - ২০১৬ অনুযায়ী, রূপপুর পারমাণবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রে আগামী ২০২৪ - ২০২৫ সাল নাগাদ দুটি ইউনিট (প্রতিটি ১২০০ মেগাওয়াট), ২০৩০ - ২০৩১ সালে আরো দুটি ইউনিট এবং ২০৪০ - ২০৪১ সালে আরো দুটি ইউনিট হতে পারমাণবিক বিদ্যুৎ উৎপাদনের জন্য নির্ধারণ করা হয়েছে (PSMP 2016)। পিএসএমপি - ২০১৬-তে পারমাণবিক প্রযুক্তির ব্যবহার করে বিদ্যুৎ উৎপাদনের লক্ষ্যমাত্রা নির্ধারিত রয়েছে ৭%, যা উল্লিখিত পারমাণবিক চুল্লিগুলো থেকে কাঙ্ক্ষিত বিদ্যুৎ উৎপাদনের মাধ্যমে অর্জিত হবে। উল্লেখ্য যে, পারমাণবিক প্রযুক্তির মাধ্যমে বিদ্যুৎ উৎপাদনের জন্য রূপপুর পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র নির্মাণ প্রকল্পের কাজ শেষ পর্যায়ে রয়েছে। উপরন্তু, বাংলাদেশের দক্ষিণাঞ্চলে নিউক্লিয়ার পাওয়ার প্ল্যান্ট নির্মাণের সম্ভাব্য স্থান নির্বাচনের সমীক্ষা কার্যক্রম চলমান, যার আওতায় প্রস্তাবিত সাইটসমূহে সাইট সিলেকশন পর্যায়ের সিসমোলজিক্যাল ও টেকটনিক্যাল, ভূ-তাত্ত্বিক ও ভূ-পদার্থিক এবং গ্রাউন্ড ও সারফেস ওয়াটার হাইড্রোলজিক্যাল স্ট্যাডি করা হয়েছে (BAEC, 2021)। এ ছাড়াও উক্ত সাইটসমুহ 'একটিভ ডেল্টা বেসিন'-এর মধ্যে পড়েছে কিনা; উৎপাদিত বিদ্যুতের চাহিদা, ট্রান্সমিশন ও ডিস্ট্রিবিউশন; ভারি যন্ত্রপাতি পরিবহন ব্যবস্থা; অর্থনৈতিক সমীক্ষাসহ প্রয়োজনীয় অন্যান্য স্ট্যাডি সম্পন্ন করা হবে।

পারমাণবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রের সাইট নির্বাচনের বিষয়টি অত্যন্ত সংবেদনশীল ও অতীব গুরুত্বপূর্ণ। কারণ, মানুষ ও পরিবেশের নিরাপত্তা ও সেই সাথে পারমাণবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রের নিরাপত্তা ও নির্মাণ ব্যয়, ইত্যাদি সাইট সিলেকশান-এর উপর নির্ভরশীল। সেজন্য সাইট নির্বাচনের ক্ষেত্রে আন্তর্জাতিক পরমাণু শক্তি সংস্থার (আইএইএ) নির্দেশনার পাশাপাশি বাংলাদেশ পরমাণু শক্তি নিয়ন্ত্রণ কর্তৃপক্ষ ও বাংলাদেশ পরিবেশ অধিদপ্তরের আইন ও বিধি-বিধান পুঙ্খানুপুঙ্খভাবে মেনে চলতে হয়। তবে প্রচলিত বৃহৎ আকারের (≤১০০০ মেগাওয়াট) পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্রের তুলনায় ছোট আকারের 'স্মল মডিউলার রিয়্যাক্টর'-এর সাইট সিলেকশান ক্রাইটেরিয়া ও অন্যান্য প্রযোজ্য শর্তাবলি তুলনামূলক কম এবং স্বল্পায়াসে প্রতিপালনযোগ্য। যে সকল জায়গায় বৃহৎ আকারের পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র নির্মাণ সম্ভব নয়, সে সকল জায়গায় এসএমআর স্থাপন করা সম্ভব। বিশেষ করে, সাগরের তীরবর্তী স্থান, যেখানে মাটির গুণগত কারণে বড় আকারের পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র স্থাপন করা সম্ভব না, সেখানেও এসএমআর স্থাপন করা সম্ভব। এসএমআর-এর বিশেষ সুবিধা হলো এটি স্বল্পতর সময়ে কারখানায় তৈরি করে কাঙ্ক্ষিত স্থানে স্থাপন করা যায়। পরবর্তী

অধ্যায়ে এসএমআর-এর বিশেষ দিকসমূহ বিস্তারিত বর্ণনা এবং সেই সাথে বাংলাদেশে এটি স্থাপনের সম্ভাবনার দিকগুলো আলোকপাত করা হয়েছে।

বাংলাদেশের বিদ্যুৎখাতের পরিসংখ্যান

বর্তমানে বাংলাদেশে স্থাপিত ১৫২ টি বিদ্যুৎ কেন্দ্রে বিদ্যুৎ উৎপাদন ক্ষমতা ২৪,৯১১ মেগাওয়াট (BUBO, 2023)। বিদ্যুৎ উন্নয়ন বোর্ডের তথ্যানুযায়ী বাংলাদেশের জাতীয় গ্রিডে যে পরিমাণ বিদ্যুৎ সংযুক্ত হয় তাকে ৪ টি খাতে ভাগ করা যায়। খাতগুলো হলো- সরকারি খাত, যৌথ উদ্যোগ, বেসরকারি ও আমদানি খাত । সরকারি খাতে রাষ্ট্রায়াত্ব ৬টি প্রতিষ্ঠানের অধীনে বিভিন্ন বিদ্যুৎকেন্দ্রে সর্বমোট ১০,৪৭৯ মেগাওয়াট বিদ্যুৎ উৎপাদিত হয়, যা মোট উৎপাদিত বিদ্যুতের ৪২ শতাংশ। যৌথ উদ্যোগ (সরকারি-বেসরকারি) খাতে ২টি প্রতিষ্ঠানের অধীনে বিভিন্ন বিদ্যুৎকেন্দ্রে সর্বমোট ১,৮৬১ মেগাওয়াট বিদ্যুৎ উৎপাদিত হয়, যা মোট উৎপাদিত বিদ্যুতের ৭ শতাংশ। বেসরকারি খাতে ৬ টি প্রতিষ্ঠানের অধীনে বিভিন্ন বিদ্যুৎকেন্দ্রে সর্বমোট ৯,৯১৫ মেগাওয়াট বিদ্যুৎ উৎপাদিত হয়, যা মোট উৎপাদিত বিদ্যুতের ৪০ শতাংশ। আমদানি খাতে মূলত ভারত থেকে High Voltage Direct Current (HVDC) ভেড়ামারা ও ত্রিপুরা হয়ে বিদ্যুৎ আমদানি করা হয়। আমদানির মাধ্যমে সর্বমোট ২,৬৫৬ মেগাওয়াট বিদ্যুৎ জাতীয় গ্রিডে যুক্ত হয়, যা মোট উৎপাদিত বিদ্যুতের ১০ শতাংশ। স্থাপিত ১৫২ টি বিদ্যুৎ কেন্দ্রের মধ্যে ৬৪ টি প্রাকৃতিক গ্যাস ভিত্তিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রে মোট উৎপাদন ক্ষমতা ১১,৪৭৯ মেগাওয়াট, যা মোট উৎপাদিত বিদ্যুতের ৪৬ শতাংশ; ৬৫ টি ফার্নেস অয়েল ভিত্তিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রে মোট উৎপাদন ক্ষমতা ৬,৪৯২ মেগাওয়াট, যা মোট উৎপাদিত বিদ্যুতের ২৬ শতাংশ; ৫টি কয়লা, ৭টি ডিজেল, ১টি হাইড্রো ও ১০টি অন-গ্রিড সৌর ভিত্তিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রে মোট উৎপাদন ক্ষমতা যথাক্রমে ২৬৯২ মেগাওয়াট, ১০১০ মেগাওয়াট, ২৩০ মেগাওয়াট ও ৪৫৯ মেগাওয়াট; যা মোট উৎপাদিত বিদ্যুতের যথাক্রমে ১১ শতাংশ, ০৪ শতাংশ, ০১ শতাংশ ও ০২ শতাংশ। নিচের টেবিল- ১, ২ ও ৩ এ বাংলাদেশের বিদ্যুৎখাতের পরিসংখ্যান তুলে ধরা হলো (BUBO, 2023)। উল্লেখ্য যে, দেশের বিদ্যুৎ সমস্যা দ্রুত সমাধানের জন্য Quick Rental Power Plant (QRPP) স্বল্প মেয়াদে বিদ্যুৎকেন্দ্রসমূহ চালু করা হয় কিন্তু বর্তমানে অনেকগুলো নতুন নতুন বিদ্যুৎকেন্দ্র চালু হওয়ায় QRPP এর গুরুত্ব কমে এসেছে।

টেবিল ১: গ্রিডভিত্তিক বর্তমান স্থাপিত বিদ্যুৎ উৎপাদন ক্ষমতা (খাত অনুযায়ী) (BUBO, 2023)

খাত	বিদ্যুৎ কেন্দ্রের সংখ্যা	স্থাপিত ক্ষমতা (মে.ও.)
সরকারি খাত		
বিপিডিবি	৩৯	৬,২৩৩
এপিএসসিএল	৫	১,৩৯৪
ইজিসিবি	৩	৯৫৭
নওপাজেকো	৭	১,৪০১
আরপিসিএল	৩	১৮২
বি-আর পাওয়ার জোন	২	৩১২

উপ-মোট (সরকারি খাত)	**৫৯**	**১০,৪৭৯ (৪২%)**
যৌথ উদ্যোগ		
বিসিপিসিএল	১	১,২৪৪
বিআইএফপিসিএল	১	৬১৭
উপ-মোট (যৌথ উদ্যোগ)	**২**	**১,৮৬১ (৭%)**
বেসরকারি খাত		
আইপিপি	৬২	৮,৪৯৪
এসআইপিপি(বিপিডিবি)	৪	৯৯
এসআইপিপি(আরইবি)	৯	২৫১
ভাড়াভিত্তিক (১৫ বছর)	৪	১৬৯
ভাড়াভিত্তিক (৩/৫ বছর)	২	১০৫
ভাড়াভিত্তিক (নো ইলেকট্রিসিটি নো পেমেন্ট)	**১০**	**৭৯৭**
উপ-মোট (বেসরকারি খাত)	**৯১**	**৯,৯১৫ (৪০%)**
বিদ্যুৎ আমদানি		
ভেড়ামারা এইচভিডিসি		১,০০০
ত্রিপুরা		১৬০
ঝাড়খন্ড (ভারত) (আদানী পাওয়ার)		১,৪৯৬
উপ-মোট (বিদ্যুৎ আমদানি)		**২,৬৫৬ (১১%)**
মোট	**১৫২**	**২৪,৯১১**

টেবিল ২: গ্রিডভিত্তিক বর্তমান স্থাপিত বিদ্যুৎ উৎপাদন ক্ষমতা (জ্বালানি অনুযায়ি) (BUBO, 2023)

ক্রঃ নং	**জ্বালানী**	**বিদ্যুৎ কেন্দ্রের সংখ্যা**	**স্থাপিত ক্ষমতা (মে.ও.)**	**শতকরা হার**
১	প্রাকৃতিক গ্যাস	৬৪	১১,৪৭৯	৪৬%
২	ফার্নেস অয়েল	৬৫	৬,৪৯২	২৬%
৩	ডিজেল	৭	১,০১০	৪%
৪	কয়লা	৫	২,৬৯২	১১%
৫	হাইড্রো	১	২৩০	১%
৬	অন-গ্রিড সৌর	১০	৪৫৯	২%
৭	বিদ্যুৎ আমদানি	-	২,৬৫৬	১০%
মোট		**১৫২**	**২৪,৯১১**	**১০০%**

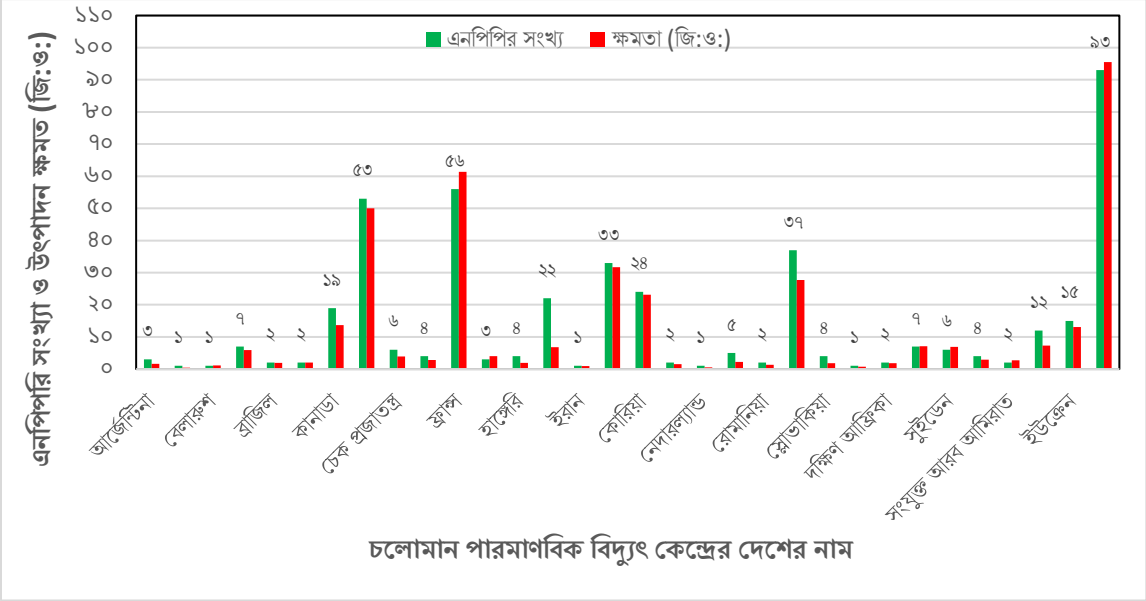
টেবিল ৩: বাংলাদেশের Quick Rental Power Plant (QRPP) সংক্রান্ত সংক্ষিপ্ত তথ্যাদি (২০০৯-২০২৩) (BUBO, 2023)

ক্রঃ নং	বিদ্যুৎকেন্দ্রের নাম	জ্বালানী	স্থাপিত ক্ষমতা (মে.ও.)
১	ঘোড়াশাল, নরসিংদী	ডিজেল	১৪৫
২	পাগলা কুইক রেন্টাল	ডিজেল	৫০
৩	বি-বাড়িয়া	গ্যাস	৭০
৪	আশুগঞ্জ	গ্যাস	১৩৩
৫	মদনগঞ্জ, নারায়নগঞ্জ	HFO	১০২
৬	মেঘনাঘাট, নারায়নগঞ্জ	HFO	১০০
৭	সিদ্ধীরগঞ্জ, নারায়নগঞ্জ	ডিজেল	১০০
৮	সিদ্ধীরগঞ্জ	HFO	১০০
৯	ঘোড়াশাল	গ্যাস	৭৮
১০	কেরানীগঞ্জ, ঢাকা	HFO	১০০
১১	নোয়াপাড়া, যশোর	HFO	৪০
১২	খুলনা	ডিজেল	৫৫
১৩	খুলনা	HFO	১১৫
১৪	আমনুরা, চাপাই নবাবগঞ্জ	HFO	৫০
১৫	কাটাখালী, রাজশাহী	HFO	৫০
১৬	জুলদা, চট্টগ্রাম	HFO	১০০
	মোট		**১৪৮৮**

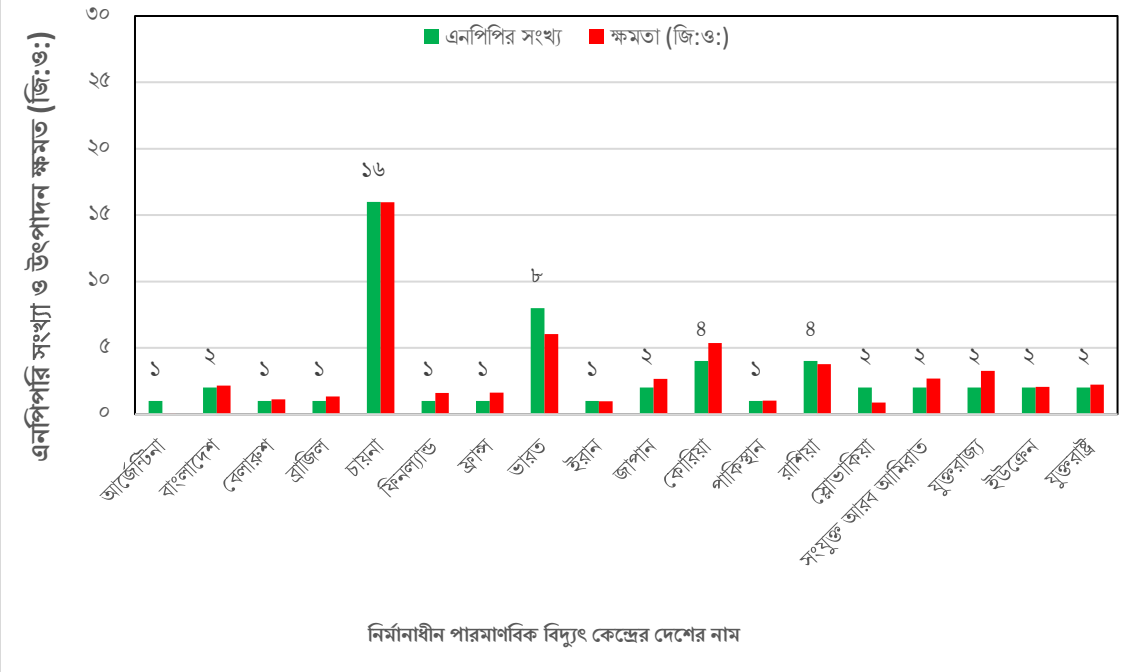
পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র

পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র হলো পরমাণু প্রযুক্তির শান্তিপূর্ণ ব্যবহারের মাধ্যমে কার্বন নির্গমন-মুক্ত বিদ্যুৎ উৎপাদনের বিশ্বব্যাপি পরিবেশ বান্ধব, নিরাপদ, সাশ্রয়ী ও টেকশই পন্থা। পারমাণবিক প্রযুক্তিতে বিদ্যুৎ উৎপাদনে অন্য প্রযুক্তির তুলনায় ক্যজুয়ালিটির হার সর্বনিম্ন। পারমাণবিক প্রযুক্তিতে সংঘঠিত নিউক্লিয়ার ফিশন ও নিউক্লিয়ার ফিউশন বিক্রিয়া থেকে প্রচুর পরিমাণে তাপশক্তি পাওয়া যায়। বর্তমানে পারমাণবিক প্রযুক্তি থেকে উৎপাদিত বিদ্যুতের সিংহভাগই পরমাণু চুল্লিতে ইউরেনিয়াম এবং প্লুটোনিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াসের বিভাজনের মাধ্যমে উৎপাদিত হয়। নিউক্লিয়ার ফিউশনের মাধ্যমে বাণিজ্যিকভাবে বিদ্যুৎ উৎপাদন এখনো সম্ভব না হলেও বিশ্বে এর উপর ব্যাপক গবেষণা চলমান এবং অদূর ভবিষ্যতে ফিউশন রিএ্যক্টরের মাধ্যমে বাণিজ্যিকভাবে বিদ্যুৎ উৎপাদন করা সম্ভব হবে বলে বিজ্ঞানীরা আশাবাদী। বর্তমানে বিশ্বের ৩২টি দেশে ৪৩৭ টি পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র চলোমান আছে এবং এগুলো থেকে প্রায় ৩৮৯৫০৮ মেগাওয়াট বিদ্যুৎ উৎপাদিত হচ্ছে। এছাড়াও বাংলাদেশসহ ১৯ টি দেশে ৫৬ পারমাণবিক বিদ্যুৎ

কেন্দ্র নির্মাণাধীন রয়েছে। এগুলো চালু হলে প্রায় ৫৮০৯৬ মেগাওয়াট বিদ্যুৎ উৎপাদিত হবে। এ সংক্রান্ত তথ্য চিত্র-১ ও ২ এ দেয়া হলো (IAEA, 2013; IAEA, 2023)



চিত্র ১: বিভিন্ন দেশে চলোমান পারমাণবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রের সংখ্যা ও ক্ষমতা (জি.ও.)।



চিত্র ২: বিভিন্ন দেশে নির্মানাধীন পারমাণবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রের সংখ্যা ও ক্ষমতা (জি.ও.)।

স্মল মডিউলার রিঅ্যাক্টর (এসএমআর)-এর বর্ণনা

এসএমআর হলো উন্নত প্রযুক্তির ছোট আকৃতির পারমাণবিক চুল্লি যার বর্তমান ডিজাইন মোতাবেক বিদ্যুৎ উৎপাদন ক্ষমতা সর্বোচ্চ ৩০০ মেগাওয়াট। এসএমআর-এর বিদ্যুৎ উৎপাদন ক্ষমতা প্রচলিত বড় আকারের পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্রের তুলনায় কম। তবে প্রযুক্তিগত উন্নতির সাথে পরবর্তীতে এসএমআর-এর ক্ষমতা বৃদ্ধির পরিকল্পনা রয়েছে। এটি স্বল্প-কার্বন বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্র। নির্গমন-মুক্ত শক্তি উৎপাদনের লক্ষ্যে তারা সৌর এবং বায়ু শক্তির মতো নবায়নযোগ্য শক্তির উৎসগুলির সাথে অনন্যভাবে যুক্ত হয়ে বিদ্যুৎ উৎপাদন করতে সক্ষম। এটি কার্বন-মুক্ত ভবিষ্যতকে বাস্তবসম্মত, নিরাপদ এবং সাশ্রয়ি করে তোলে। এটা স্থাপনের জন্য তুলনামূলক ছোট জায়গা প্রয়োজন হয়, তাই যেসব স্থান বড় রিঅ্যাক্টর স্থাপনের অনুপযুক্ত বা যেসব এলাকায় বড় রিঅ্যাক্টরের প্রয়োজন হয় না, সেখানে এসএমআর স্থাপন করা যায়। সহজ ও সুন্দরভাবে এটি সম্পর্কে আরো বলা যায়: ছোট-আকৃতিতে একটি প্রচলিত বড় আকারের পারমাণবিক চুল্লির তুলনায় অনেক ছোট; মডুলার- একটি ইউনিট হিসেবে কারখানায় তৈরি ও ব্যবহার উপযোগী করে নির্দিষ্ট স্থানে স্থাপনযোগ্য এবং রিঅ্যাক্টর- যেখানে পারমাণবিক ফিশন প্রক্রিয়ায় তাপশক্তি উৎপাদিত হয়, যা বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তর করা হয়। চলমান চাহিদা কিংবা সমাজের জন্য গুরুত্বপূর্ণ ও প্রয়োজনীয় নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্য সংরক্ষণের জন্য এসএমআর-এর আকার ভিন্ন ভিন্ন হয়। বড় আকারের বিদ্যুৎকেন্দ্রের নির্মাণ জটিলতা ও দীর্ঘসূত্রিতা এবং পরিবেশগত পারমাণবিক নিরাপত্তাজনিত বাধ্যবাধকতা সহজীকরণের লক্ষ্যে এসএমআর ডিজাইন করা হয়েছে।

এসএমআর এর মূখ্য উপাদানসমূহ

কন্টেনমেন্ট: চুল্লি এবং সংশ্লিষ্ট বাষ্প জেনারেটরের চারপাশের কাঠামো যা এটিকে বাইরের অনুপ্রবেশ থেকে রক্ষা করার জন্য এবং ভিতরে কোনও গুরুতর ত্রুটির ক্ষেত্রে বিকিরণের প্রভাব থেকে বাইরের মানুষ ও পরিবেশ রক্ষা করার জন্য ডিজাইন করা হয়। এটি সাধারণত একটি পুরু কংক্রিট এবং ইস্পাত কাঠামো।

প্রেসার ভেসেল বা প্রেসার টিউব: সাধারণত রিঅ্যাক্টর কোর এবং মডারেটর/কুল্যান্ট সমন্বিত একটি শক্তিশালি ইস্পাত কাঠামো। এটি জ্বালানি ধারণ করে এবং আশেপাশের মডারেটরের মাধ্যমে কুল্যান্টকে বহনকারি টিউবের একটি সিরিজ হতে পারে।

রিঅ্যাক্টর কোর: এটি চুল্লির মূল অংশ। এখানে পারমাণবিক জ্বালানি থাকে এবং পারমাণবিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে বিদ্যুৎ উৎপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় তাপ উৎপন্ন হয়।

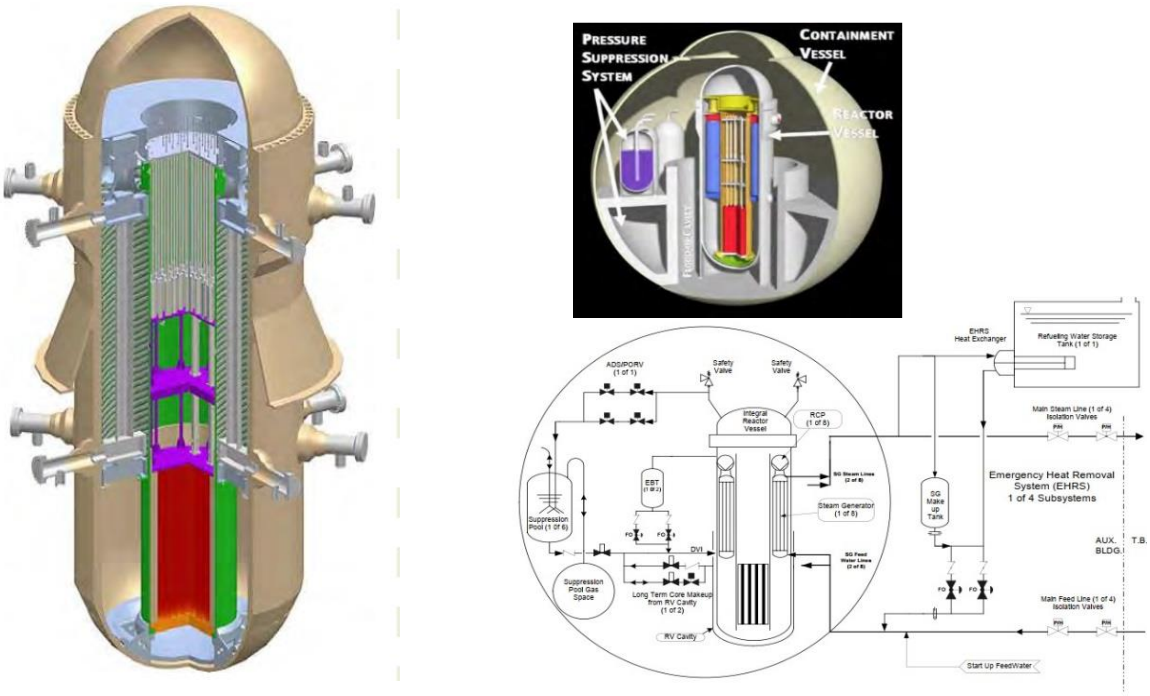
জ্বালানি দণ্ড: এতে ইউরেনিয়াম সমৃদ্ধ জ্বালানি উপাদানের পেলেটগুলো টিউবে সাজানো থাকে।

কন্ট্রোল রড: এগুলি ক্যাডমিয়াম, হাফনিয়াম বা বোরনের মতো নিউট্রন-শোষণকারি উপাদান দিয়ে তৈরি করা হয় এবং রিঅ্যাক্টর কোর এ বিক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রণ করতে বা রিঅ্যাক্টর বন্ধ করার জন্য ঢোকানো বা প্রত্যাহার করা হয়।

শীতলীকারক: এটি একটি নির্দিষ্ট তরল যা রিঅ্যাক্টর কোর এর তাপ স্থানান্তরের জন্য ব্যবহৃত হয়।

মডারেটর: এটি রিঅ্যাক্টর কোরের একটি উপাদান যা ফিশন বিক্রিয়া থেকে নিঃসৃত নিউট্রনকে ধীর করে দেয় যাতে তারা আরও ফিশন বিক্রিয়া ঘটায়। এটি সাধারণত জল, ভারি জল বা গ্রাফাইট হতে পারে।

বাষ্প জেনারেটর: এটি প্রেসারাইজড ওয়াটার রিঅ্যাক্টর এর কুলিং সিস্টেমের অংশ যেখানে চুল্লি থেকে তাপ নিয়ে আসা উচ্চ-চাপের প্রাথমিক কুল্যান্ট একটি সেকেন্ডারি সার্কিটে টারবাইনের জন্য বাষ্প তৈরি করতে ব্যবহৃত হয়। মূলত একটি মোটর কার রেডিয়েটারের মতো একটি হিট এক্সচেঞ্জার।



চিত্র ৩: IRIS (IRIS International Consortium) কর্তৃক ডিজাইকৃত এসএমআর-এর নকশা।

এসএমআর-এর বিশেষ সুবিধাসমূহ

১. প্রচলিত পারমানবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রের তুলনায় এসএমআর ডিজাইন সাধারণত সহজ ও আকারে বেশ ছোট।

২. এসএমআর-এর ডিজাইন খুবই নমনীয়। শক্তির চাহিদা মেটাতে উৎপাদন ক্ষমতা বাড়িয়ে বা কমিয়ে ডিজাইন করার সুযোগ থাকে।

৩. নির্মাণ খরচ ও স্থাপনের জন্য প্রয়োজনী জায়গা প্রচলিত পারমানবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রের তুলনায় অনেক কম।

৪. এসএমআর-এর অংশগুলি কারখানায় তৈরি করে সাইটের অবস্থানে পাঠানো যায় তাই নির্মাণ কাজ দ্রুত শেষ হয়।

৫. যে এলাকায় পর্যাপ্ত ট্রান্সমিশন লাইন এবং গ্রিড ক্ষমতা নেই, সেখানে একটি বিদ্যমান গ্রিডে বা দূরবর্তীভাবে অফ-গ্রিডে এটি ছোট বৈদ্যুতিক আউটপুটের ফাংশন হিসেবে, শিল্প-কারখানায় এবং আবাসিক বিদ্যুৎ সরবরাহের জন্য ইনস্টল করা যায়।

৬. প্রচলিত পারমাণবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রের তুলনায় শীতলীকরণের জন্য কম পানির প্রয়োজন হয়। তাই, স্বল্প পানির প্রাপ্যতার স্থানসমূহেও এসএমআর স্থাপন করা যায়।

৭. এলাকার বিদ্যুৎ চাহিদার উপর ভিত্তি করে এসএমআর-এর কাস্টম ডিজাইন করা যায়।

৮. প্রচলিত পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্রের তুলনায় এসএমআর এর তাপ-দক্ষতা বেশি।

৯. নির্মাণ, পরিচালনা এবং রক্ষণাবেক্ষণের জন্য কম জনবল প্রয়োজন।

১০. এসএমআর-এর নিরাপত্তার ধারণা অনেকাংশে পরোক্ষ সুরক্ষা ব্যবস্থা এবং চুল্লির অন্তর্নিহিত নিরাপত্তা বৈশিষ্ট্যের উপর নির্ভর করে, যেমন কম শক্তি এবং অপারেটিং চাপ। এর মানে হলো যে এই ধরনের ক্ষেত্রে সিস্টেমগুলিকে বন্ধ করার জন্য কোনও মানুষের হস্তক্ষেপ বা বাহ্যিক শক্তি বা শক্তির প্রয়োজন হয় না। কারণ প্যাসিভ সিস্টেমগুলি প্রাকৃতিক সঞ্চালন, পরিচলন, মাধ্যাকর্ষণ এবং স্ব-চাপের মতো শারীরিক ঘটনাগুলির উপর নির্ভর করে। এই বর্ধিত নিরাপত্তা মার্জিন, কিছু ক্ষেত্রে, দুর্ঘটনার ক্ষেত্রে পরিবেশ এবং জনসাধারণের জন্য তেজস্ক্রিয়তার অনিরাপদ প্রকাশের সম্ভাবনাকে দূর করে বা উল্লেখযোগ্যভাবে কমিয়ে দেয়।

১১. এসএমআর-এ স্বল্প পরিমাণ জ্বালানির প্রয়োজন হয়। এসএমআর-এ কম সংখ্যকবার জ্বালানি প্রতিস্থাপন করতে হয়, প্রতি ৩-৭ বছরে একবার। যেখানে প্রচলিত পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্রে প্রতি ১-২ বছরে জ্বালানি প্রতিস্থাপন করতে হয়। কোন কোন এসএমআর এমনভাবে ডিজাইন করা হয়, যা জ্বালানি প্রতিস্থাপন ছাড়াই ৩০ বছর পর্যন্ত চালানো যায়।

১২. এসএমআর-এ যৎসামান্য পারমাণবিক বর্জ্য তৈরি হয়, যার ব্যবস্থাপনা তুলনামুলকভাবে সহজসাধ্য।

বর্তমানে বিশ্বে ১৫ টি দেশ বিভিন্ন চাহিদার উপর ভিত্তি করে ০৬ ধরনের মোট ৭২ টি মডেলের এসএমআর ডিজাইন করেছে। এর মধ্যে ২৫ টি Land-based water-cooled এসএমআর; ৬টি Marine-based water-cooled এসএমআর; ১৪টি High Temperature Gas Cooled এসএমআর; ১১টি Fast Neutron Spectrum এসএমআর, ১০টি Molten Salt এসএমআর; এবং ৬ টি Micro-sized এসএমআর। এদের মধ্যে শুধুমাত্র রাশিয়ার KLT-40S, চায়নার HTR-10 ও জাপানের HTTR-30 মডেলের এসএমআর গুলো বিদ্যুৎ উৎপাদন পর্যায়ে রয়েছে এবং অন্যান্য মডেল গুলো উন্নয়ন, লাইসেনসিং ও স্থাপনের বিভিন্ন পর্যায়ে রয়েছে। উদ্ভাবিত

সকল ধরণের এসএমআর এর মডেল, টাইপ, উদ্ভাবনকারী দেশের নাম, ক্ষমতা ও ডিজাইন স্ট্যাটাস সংক্ষিপ্ত বর্ণনা নিম্নের টেবিলে উল্লেখ করা হলো (IAEA, 2020)।

টেবিল ৪: বর্তমান বিশ্বে এসএমআর সংক্রান্ত পরিসংখ্যান (IAEA, 2023)।

ক্রমিক নং	ধরণ	এসএমআর ডিজাইন, টাইপ ও উদ্ভাবনকারী দেশ	ক্ষমতা (মে:ও:)	ডিজাইন স্টাটাস
১.	Land-based water-cooled SMRs.	CAREM (PWR, Argentina)	৩০	নির্মানাধীন
		ACP100, (PWR, China)	১০০	বিস্তারিত ডিজাইন পর্যায়
		CANDU SMR (PHWR, Canada)	৩০০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন
		CAP200 (PWR, China)	২০০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন
		DHR400 (LWR, China)	৪০০	বেসিক ডিজাইন পর্যয়
		HAPPY200 (PWR, China)	২০০	বিস্তারিত ডিজাইন পর্যায়
		TEPLATORTM (HWR, China)	৫০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন
		NUWARD	২০ x ১৭০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন
		IRIS (PWR,Multiple Countries)	৩৩৫	বেসিক ডিজাইন পর্যয়
		DMS (BWR, Japan)	৩০০	বেসিক ডিজাইন পর্যয়
		IMR (PWR, Japan)	৩৫০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন
		SMART(PWR, Kora & Saudi Arabia)	১০৭	ডিজাইন অনুমোদিত
		RITM-200 (PWR, Russian Federation)	২x৫৩	উন্নয়ন পর্যায়
		UNITHERM (PWR, Russian Federation)	৬.৬	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		VK-300 (BWR, Russian Federation)	২৫০	বিস্তারিত ডিজাইন পর্যায়
		KARAT-45 (BWR, Russian Federation)	৪৫-৫০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		KARAT-100 (BWR, Russian Federation)	১০০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		RUTA-70 (PWR, Russian Federation)	৭০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		ELENA (PWR, Russian Federation)	৬৮	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		UK SMR (PWR, UK)	৪৪৩	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		NuScale (PWR, USA)	১২x৬০	নিয়ন্ত্রক কর্তৃক পর্যালোচনাধীন
		BWRX-300 (BWR, USA & Japan)	২৭০-২৯০	প্রাক-লাইসেন্সিং পর্যায়
		SMR-160 (PWR, USA)	১৬০	প্রাথমিক ডিজাইন পর্যায়
		W-SMR (PWR, USA)	২২৫	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		mPower (PWR, USA)	২x১৯৫	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়

২.	Marine-based water-cooled SMRs.	KLT-40S (PWR, Russian Federation)	২x৩৫	বিদ্যুৎ উৎপাদন চলোমান
		RITM-200M (PWR, Russian Federation)	২x৫০	উন্নয়ন পর্যায়
		ACPR50S (PWR, China)	৫০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		ABV-6E (PWR, Russian Federation)	৬-৯	চূড়ান্ত ডিজাইন পর্যায়
		VBER-300 (PWR, Russian Federation)	৩২৫	লাইসেন্সিং পর্যায়
		SHELF (PWR, Russian Federation)	৬.৬	বিস্তারিত ডিজাইন পর্যায়
৩.	High Temperature Gas Cooled SMRs	HTR-PM (HTGR, China)	২১০	নির্মানাধীন
		StarCore(HTGR, Canada/UK/US)	১৪/২০/৬০	প্রাক-কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		GTHTR300 (HTGR, Japan)	১০০-৩০০	প্রাক-লাইসেন্সিং পর্যায়
		GT-MHR (HTGR, Russian Federation)	২৮৮	প্রাথমিক ডিজাইন পর্যায়
		MHR-T (HTGR, Russian *Federation)*	৪ × ২০৫.৫	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		MHR-100 (HTGR, Russian Federation)	২৫-৮৭	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		PBMR-400 (HTGR, South Africa)	১৬৫	প্রাথমিক ডিজাইন পর্যায়
		A-HTR-100 (HTGR, South Africa)	৫০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		HTMR-100 (HTGR, South Africa)	৩৫	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		Xe-100 (HTGR, USA)	৮২.৫	বেসিক ডিজাইন পর্যয়
		SC-HTGR (HTGR/MHR-T, USA)	২৭২	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		HTR-10 (HTGR, China)	১০	বিদ্যুৎ উৎপাদন চলোমান
		HTTR-30 (HTGR, Japan)	৩০	বিদ্যুৎ উৎপাদন চলোমান
		RDE (HTGR, Indonesia)	৩	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
৪.	Fast Neutron Spectrum SMRs.	BREST-OD-300 (LMFR, Russian Federation)	৩০০	বিস্তারিত ডিজাইন পর্যায়
		ARC-100(Liquid Sodium)	১০০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		4S (LMFR, Japan)	১০	বিস্তারিত ডিজাইন পর্যায়
		microURANUS(LBR, Korea)	২০	প্রাক-কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		LFR-AS-200 (LMFR, Luxembourg)	২০০	প্রাথমিক ডিজাইন পর্যায়
		LFR-TL-X (LMFR, Luxembourg)	৫-২০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		SVBR (LMFR, Russian Federation)	১০০	বিস্তারিত ডিজাইন পর্যায়
		SEALER (LMFR, Sweden)	৩	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		EM^2(GMFR, USA)	২৬৫	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		Westinghouse LFR (LMFR, USA)	৪৫০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		SUPERSTAR (LMFR, USA)	১২০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
৫.	Molten Salt SMRs	Integral MSR (*MSR*, Canada)	১৯৫	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		smTMSR-400 (MSR, China)	১৬৮	প্রাক-কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		CA Waste Burner 0.2.5 (MSR, Denmark)	২০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		ThorCon (MSR, International Consortium)	২৫০	বেসিক ডিজাইন পর্যয়

		FUJI (MSR, Japan)	২০০	পরীক্ষণ বা টেস্টিং পর্যায়
		Stable Salt Reactor – Wasteburner (MSR, UK/Canada)	৩০০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		LFTR *(MSR, USA)*	২৫০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		KP-FHR (Pebble-bed salt cooled Reactor, USA)	১৪০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		Mk1 PB-FHR (FHR, USA)	১০০	প্রাক-কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		MCSFR (MSR, USA-Canada)	৫০-১২০০	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
৬.	Micro-sized SMRs	Energy Well *(*FHTR, Czech Republic)	৮	প্রাক-কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		MoveluX (Heat Pipe, Japan)	৩-৪	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		U-Battery (HTGR, UK)	৪	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		Aurora (FR, USA)	১.৫	কনসেপচুয়াল ডিজাইন পর্যায়
		Westinghouse eVinci (Heat Pipe, USA)	২-৩.৫	উন্নয়ন পর্যায়
		MMR (HTGR, USA)	৫-১০	প্রাথমিক ডিজাইন পর্যায়

উপসংহার

বাংলাদেশ দেশের বিদ্যুৎ চাহিদা পুরণের জন্য যুগোপযোগী স্বল্প মেয়াদি, মধ্যমেয়াদি ও দীর্ঘমেয়াদি পরিকল্পনা গ্রহণ করেছে। স্বল্প মেয়াদি পরিকল্পনার আওতায় প্রয়োজন মতো কিছু সংখ্যক Quick Rental Power Plant স্থাপন করেছে। এতদসংক্রান্ত পরিসংখ্যান টেবিল-৩ দেয়া হয়েছে। মধ্যমেয়াদি পরিকল্পনার আওতায় সরকার বেশ কিছু সংখ্যক গ্যাস, কয়লা ও ফসিল ফুয়েল ভিত্তিক পাওয়ার প্লান্ট নির্মাণ ও সেই সাথে পার্শ্ববর্তী দেশ থেকে সরাসরি বিদ্যুৎ আমদানির ব্যাবস্থা করেছে ।

দীর্ঘমেয়াদি পরিকল্পনার আওতায় রূপপুর পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র নির্মাণ কাজ শেষ পর্যায়ে রয়েছে। এসব বিদ্যুৎ কেন্দ্রের লাইফ টাইম হবে ৬০ থেকে ৮০ বছর। রূপপুরের ন্যায় দেশের দক্ষিণাঞ্চলে আরও পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র স্থাপনের পরিকল্পণা সরকারের রয়েছে। সঙ্গত কারণে দেশের দক্ষিণাঞ্চলের চরসমূহে বড় আকারের পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র নির্মাণ করা সম্ভব নয়। তবে দেশের বিভিন্ন অঞ্চলে বিশেষ করে QRPP স্থানসমূহে দীর্ঘ মেয়াদে এসএমআর স্থাপন করা লাভজনক হবে। উল্লেখ্য যে, দেশের দক্ষিণাঞ্চল একটিভ ডেলটার অংশ হওয়ায় সেখানে প্রতিনিয়ত চর জেগে উঠছে। এসব চরের বয়স ১০০ বছরের কম। সেখানে প্রচলিত বড় আকারের পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্র নির্মাণের চেয়ে এসএমআর এর সুবিধাদি বিবেচনায় তা নির্মাণের বিষয়টি সক্রিয়ভাবে চিন্তা করা যায়। এতে করে অঞ্চলভেদে সুষম ও টেকশই উন্নয়ন নিশ্চিত করা সম্ভব হবে।

তথ্যসূত্র

BAEC. 2021, চূড়ান্ত প্রতিবেদন, বাংলাদেশের দক্ষিণাঞ্চলে নিউক্লিয়ার পাওয়ার প্ল্যান্ট নির্মাণের সম্ভাব্য স্থান নির্বাচনের সমীক্ষা শীর্ষক প্রকল্প, জুলাই ২০১৭ - জুন ২০২১, বাংলাদেশ পরমাণু শক্তি কমিশন (Bangladesh Atomic Energy Commision).

BUBO. 2023, বিদ্যুৎ খাতের অগ্রগতির তথ্য (খসড়া), ১২ জুলাই ২০২৩। বিদ্যুৎ পরিকল্পনা পরিদপ্তর (Biddut Unnayan Board).

IAEA. 2013, Advanced Reactor Information System, International Atomic Energy Agency (ARIS, http://aris.iaea.org).

IAEA. 2020, Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, A Supplement to: IAEA Advanced Reactor Information System (ARIS), 2020 Version, International Atomic Energy Agency.

IAEA. 2023, Nuclear Power Reactors in the World, Reference data series no 2, 2022 Version, International Atomic Energy Agency.

PSMP. 2016, Power System Master Plan 2016, Power Division, Ministry of Power, Energy and Mineral Resources, Government of the People's Republic of Bangladesh. https://powerdivision.portal.gov.bd/sites/default/files/files/powerdivision.portal.gov.bd/page/4f81bf4d_1180_4c53_b27c_8fa0eb11e2c1/PSMP2016%20Final%20Report-compressed.pdf