विद्युत वाहिनी

त्रैमासिक राजभाषा पत्रिका

तेरहवाँ अंक, अक्टूबर, 2025

विशेषांकः विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान

केंद्रीय विद्युत प्राधिकरण

भारत का संविधान

उद्देशिका

हम, भारत के लोग, भारत को एक **संपूर्ण प्रभुत्व-संपन्न, समाजवादी, पंथ-निरपेक्ष, लोकतंत्रात्मक गणराज्य** बनाने के लिए तथा उसके समस्त नागरिकों को:

सामाजिक, आर्थिक और राजनैतिक **न्याय**,

विचार, अभिव्यक्ति, विश्वास, धर्म
और उपासना की **स्वतंत्रता**,

प्रतिष्ठा और अवसर की **समता**
प्राप्त कराने के लिए,

तथा उन **सब में** व्यक्ति की गरिमा और
राष्ट्र की एकता और अखंडता
सुनिश्चित करने वाली बंधुता बढ़ाने के लिए

दृढ़संकल्प होकर **अपनी इस संविधान सभा में** आज तारीख 26 नवंबर, 1949 ई. (मिति मार्गशीर्ष शुक्ला सप्तमी, संवत् दो हजार छह विक्रमी) को **एतद्द्वारा इस संविधान को अंगीकृत, अधिनियमित और आत्मार्पित करते हैं।**

राष्ट्रगान

जन-गण-मन अधिनायक जय हे,

भारत भाग्य विधाता

पंजाब-सिन्धु-गुजरात-मराठा

द्राविड़-उत्कल-बंग

विंध्य हिमाचल यमुना गंगा

उच्छल जलधि तरंग

तब शुभ नामे जागे

तब शुभ आशिष मांगे

गाहे तब जय-गाथा

जन-गण-मंगलदायक जय हे

भारत भाग्य विधाता

जय हे, जय हे, जय हे,

जय जय जय जय हे।

संरक्षक की कलम से

प्रिय साथियों,

सप्रेम नमस्कार।

मुझे यह कहते हुए अत्यंत हर्ष हो रहा है कि हमारी राजभाषा पत्रिका 'विद्युत् वाहिनी' का तेरहवां अंक **'विद्युत् क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान'** विशेषांक के रूप में अत्यंत सामयिक एवं महत्वपूर्ण विषय को समर्पित है। इसे आपके समक्ष प्रस्तुत करते हुए मुझे अत्यंत प्रसन्नता का अनुभव हो रहा है।

आज ऊर्जा की बढ़ती आवश्यकता के युग में, स्वच्छ, सुरक्षित और सतत ऊर्जा स्रोतों की खोज एवं विकास अत्यंत महत्वपूर्ण हो गया है। इस दिशा में परमाणु ऊर्जा एक महत्वपूर्ण विकल्प के रूप में उभरी है, जो न केवल पर्यावरण के अनुकूल है, बल्कि बड़ी मात्रा में विद्युत उत्पादन में भी सक्षम है। भारत में परमाणु ऊर्जा का उपयोग विद्युत उत्पादन के क्षेत्र में दशकों से हो रहा है। वर्तमान में हमारे देश में संचालित अनेक परमाणु ऊर्जा संयंत्र अत्याधुनिक तकनीकों से सुसज्जित हैं और यह संयंत्र राष्ट्रीय विद्युत ग्रिड को निरंतर ऊर्जा प्रदान कर रहे हैं। इससे न केवल ऊर्जा सुरक्षा को बल मिला है, बल्कि यह देश की आर्थिक वृद्धि में भी सहायक सिद्ध हो रहा है।

परमाणु ऊर्जा का सबसे बड़ा लाभ यह है कि इससे कार्बन उत्सर्जन नगण्य होता है, जिससे जलवायु परिवर्तन की चुनौतियों का सामना करने में सहायता मिलती है। साथ ही, यह ऊर्जा स्रोत सीमित भू-स्थान में अधिक उत्पादन की क्षमता रखता है, जिससे भूमि उपयोग की दृष्टि से भी यह उपयोगी है।

इस पत्रिका में निहित लेखों के माध्यम से हमने परमाणु ऊर्जा के वैज्ञानिक, तकनीकी, सामाजिक एवं आर्थिक पहलुओं पर आधारित लेखों और आंकड़ों को प्रस्तुत करने का प्रयास किया है। इसमें विषयवस्तु को इस प्रकार संयोजित किया गया है कि यह न केवल ऊर्जा क्षेत्र के विशेषज्ञों एवं नीति-निर्माताओं के लिए उपयोगी हो, बल्कि आम पाठकों के लिए भी ज्ञानवर्धक सिद्ध हो। हमारी यह पत्रिका एक मंच के रूप में कार्य करती है, जहाँ ऊर्जा क्षेत्र से जुड़े विचार, नवाचार और अनुभव साझा किए जाते हैं।

मैं आप सबसे आशा करता हूँ कि आप आगे आएँ तथा अपनी ज्ञानवर्धक रचनाओं से विद्युत् वाहिनी पत्रिका को नई ऊँचाइयों तक पहुचाएं। मुझे विश्वास है कि यह अंक पाठकों में जागरूकता बढ़ाने और आत्मनिर्भर भारत की दिशा में ऊर्जा क्षेत्र में हो रहे नवाचारों को समझने में सहायक सिद्ध होगा। इसी सन्देश के साथ मैं आप सबके उज्ज्वल भविष्य और सार्थक जीवन के लिए आप सभी को शुभकामनाएं देता हूँ।

मैं चाहता हूँ कि आगामी अंकों को भी आपका भरपूर प्यार, सहयोग और स्नेह मिले। इन्हीं शब्दों के साथ आपका,

घनश्याम प्रसाद
अध्यक्ष (केविप्रा)

मुख्य संपादक की कलम से

आदरणीय पाठकगण,

मुझे अत्यंत हर्ष है कि हम राजभाषा हिन्दी में प्रकाशित इस विशेषांक **'विद्युत् क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान'** को आपके सम्मुख प्रस्तुत कर रहे हैं। यह अंक न केवल भारत में परमाणु ऊर्जा के उपयोग, विकास और भविष्य की संभावनाओं पर प्रकाश डालता है, अपितु ऊर्जा क्षेत्र में स्वदेशी अनुसंधान, आत्मनिर्भरता और पर्यावरणीय संतुलन की दिशा में किए जा रहे प्रयासों की झलक भी प्रस्तुत करता है।

हमारा देश विश्व के उन चुनिंदा राष्ट्रों में सम्मिलित है, जिन्होंने परमाणु ऊर्जा के क्षेत्र में न केवल तकनीकी आत्मनिर्भरता प्राप्त की है, बल्कि शांतिपूर्ण उपयोग के लिए एक सशक्त एवं विश्वसनीय ढांचा भी विकसित किया है। भारत का परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम इस दृष्टिकोण को दर्शाता है कि भारत अपने प्राकृतिक संसाधनों को वैज्ञानिक रूप से उपयोग में लाकर ऊर्जा आत्मनिर्भरता की दिशा में अग्रसर है। आज देश में 25 से अधिक परमाणु ऊर्जा रिएक्टर संचालन में हैं और कई अन्य निर्माणाधीन हैं। ये रिएक्टर न केवल विद्युत उत्पादन में योगदान दे रहे हैं, बल्कि उच्च तकनीकी क्षमताओं, स्वदेशी डिज़ाइन, और कुशल मानव संसाधन के माध्यम से 'मेक इन इंडिया' तथा 'आत्मनिर्भर भारत' जैसे अभियानों को सुदृढ़ कर रहे हैं।

प्रस्तुत अंक में हिन्दी भाषा के माध्यम से एक वैज्ञानिक विषय को सरल, स्पष्ट एवं प्रभावी ढंग से प्रस्तुत करने का प्रयास किया गया है। यह प्रयास राजभाषा हिन्दी के व्यापक प्रचार-प्रसार की दिशा में हमारी प्रतिबद्धता को दर्शाता है। मुझे यह कहते हुए गर्व हो रहा है कि हिन्दी अब केवल साहित्य की भाषा नहीं रह गई है, बल्कि यह विज्ञान, प्रौद्योगिकी, सूचना एवं संचार जैसे क्षेत्रों में भी सशक्त माध्यम के रूप में उभर रही है। मेरा यह विश्वास है कि तकनीकी विषयों को मातृभाषा में प्रस्तुत करने से न केवल ज्ञान का प्रसार सुगम होता है, बल्कि पाठकों में गहन समझ विकसित होती है।

इस अंक के संपादन एवं प्रकाशन से जुड़े अधिकारियों/कर्मचारियों तथा जिन्होंने अपने लेखों, सुझावों एवं तकनीकी सहयोग से इस पत्रिका को समृद्ध बनाया, उनके अमूल्य योगदान के लिए मैं उन सभी का हृदय से आभार प्रकट करती हूँ। अंत में, मैं सभी पाठकों से अनुरोध करती हूँ कि वे इस पत्रिका को पढ़ें, अपने विचार, सुझाव एवं प्रतिक्रियाएँ हमसे साझा करें। आपके सुझाव हमें भविष्य में और अधिक उपयोगी एवं गुणवत्तापूर्ण सामग्री प्रस्तुत करने के लिए प्रेरित करेंगे। राजभाषा हिन्दी के प्रचार-प्रसार तथा तकनीकी विषयों के सुलभ प्रस्तुतीकरण की इस यात्रा में मैं आप सभी के सहयोग एवं सहभागिता की अपेक्षा रखती हूँ।

अपनी अधिकाधिक रचनाएँ इस ई-मेल पर भेजते रहें-

rajbhashacea@gmail.com

पुनः हार्दिक शुभकामनाओं के साथ आपके अप्रतिम सहयोग की आकांक्षी !

अनिता गहलोत

मुख्य संपादक एवं राजभाषा प्रभारी

संपादक मंडल

संरक्षक

श्री घनश्याम प्रसाद
अध्यक्ष (केविप्रा)

<table>
<tr>
<td colspan="2">संपादक
श्री सुरता राम,
मुख्य अभियंता
(उभरती प्रौद्योगिकी और नवाचार प्रभाग (ईटी एवं आई))
 </td>
<td colspan="2">संपादक
सौमित्र मजूमदार,
मुख्य अभियंता
(आईटी सेल एवं प्रोक्योरमेंट प्रभाग)
 </td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">मुख्य संपादक</td>
<td colspan="2">उप संपादक</td>
</tr>
<tr>
<td>श्रीमती अनिता गहलोत,
राजभाषा प्रभारी व मुख्य अभियंता (मानव संसाधन विकास प्रभाग-एचआडी)</td>
<td> </td>
<td>श्री जितेन्द्र कुमार मीणा, निदेशक
(एकीकृत संसाधन योजना प्रभाग - आईआरपी)</td>
<td> </td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4">सहायक संपादक</td>
</tr>
<tr>
<td>सुश्री अर्पिता उपाध्याय, उप निदेशक (जल परियोजना आयोजन एवं अन्वेषण प्रभाग - एचपीपीआई)</td>
<td> </td>
<td>श्रीमती शेफ़ाली दुष्यन्त, सहायक निदेशक (रा.भा.)
प्रभारी, राजभाषा अनुभाग</td>
<td> </td>
</tr>
<tr>
<td colspan="4">सहयोगी स्टाफ</td>
</tr>
<tr>
<td>सुश्री दिव्या माँदीवाल, कनिष्ठ अनुवाद अधिकारी, राजभाषा अनुभाग</td>
<td> </td>
<td>श्री शरद कुमार, आशुलिपिक, राजभाषा अनुभाग</td>
<td> </td>
</tr>
</table>

कुल गीत (थीम सॉन्ग)

केंद्रीय विद्युत प्राधिकरण है भारत की शान
इसकी नई तकनीकों से भारत बने महान

1. स्वच्छ-सुरक्षित ऊर्जा का, देता ये उपहार
गांव-गांव और नगर-नगर, इसकी सेवा और प्यार
एक-राष्ट्र, एक-ग्रिड का, सपना किया साकार
जल, वायु और सूर्य से, बिजली का संचार
केंद्रीय विद्युत प्राधिकरण---------

2. देश के कोने-कोने तक, तारों का जाल बिछाए
अक्षय ऊर्जा उत्पादन में, देश को आगे बढाए
मेक इन इंडिया आत्मनिर्भर, भारत का सपना
आत्मनिर्भर भारत के, सपने का, किया आगाज़
केंद्रीय विद्युत प्राधिकरण---------

3. बिजली उत्पादन, पारेषण, वितरण, ग्रिड संचालन
चौबीस घंटे बिजली देकर, जन जीवन का प्रचालन
वंदन सब परिवारजनों का, मिलकर कदम बढाए
"यूँ ही करते रहें तरक्की" भारत को श्रेष्ठ बनाएं

केंद्रीय विद्युत प्राधिकरण-----
केंद्रीय विद्युत प्राधिकरण, है भारत की शान
भारत बने महान
है भारत की शान
भारत बने महान
है भारत की शान
भारत बने महान---------

******

अनुक्रमणिका

क्रम सं.	लेख (लेखक)	पृष्ठ सं.
1.	**विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान: सतत् विकास की ओर एक अभ्युदय** *गौरव गोयल, सहायक निदेशक-I, संचालन प्रदर्शन निगरानी प्रभाग (ओपीएम), केविप्रा*	08
2.	**विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का ऊर्जा परिवर्तन में योगदान** *चेतन शर्मा, उप निदेशक, स्वच्छ ऊर्जा एवं ऊर्जा परिवर्तन प्रभाग (सीई एंड ईटी), केविप्रा*	10
3.	**परमाणु ऊर्जा और ऊर्जा संक्रमण: नेट-ज़ीरो लक्ष्य की प्राप्ति में भूमिका** *विकल्प सैनी, सहायक निदेशक-1, थर्मल परियोजना नवीनीकरण और आधुनिकीकरण प्रभाग (टीपीआरएम), केविप्रा*	14
4.	**लघु मॉड्यूलर रिएक्टर** *राहुल राज, निदेशक, विद्युत प्रणाली योजना एवं मूल्यांकन - II प्रभाग (पीएसपीए-II), केविप्रा*	16
5.	**विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान** *सुमन बाला, निदेशक, मानव संसाधन विकास प्रभाग (एचआरडी), केविप्रा*	19
6.	**परमाणु ऊर्जा भारत के नेट जीरो लक्ष्य के लिए महत्वपूर्ण है और बड़े विस्तार की योजना है** *करन सरीन, उप निदेशक, वितरण नीति एवं निगरानी प्रभाग (डी.पी. एवं एम.), केविप्रा*	23
7.	**भारत की परमाणु ऊर्जा आवश्यकता: ऊर्जा प्रणाली के डीकार्बनाइज़ेशन में इसकी भूमिका** *मनोज कुमार, उप-निदेशक, स्वच्छ ऊर्जा एवं ऊर्जा परिवर्तन, योजना स्कन्ध, केविप्रा*	26
8.	**ऊर्जा संक्रमण और ऊर्जा सुरक्षा के परिप्रेक्ष्य में परमाणु ऊर्जा संयंत्रों की भूमिका** *रीता नागदेवे, उप निदेशक, थर्मल इंजीनियरिंग और प्रौद्योगिकी विकास प्रभाग, केविप्रा*	30
9.	**विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान** *रोमित शर्मा, सहायक निदेशक-I, विद्युत प्रणाली अभियांत्रिकी एवं प्रौद्योगिकी विकास प्रभाग (टीईएंडटीडी), केविप्रा*	32
10.	**परमाणु ऊर्जा संयंत्र की भूमिका - बेस लोड इनर्शिया और ऊर्जा परिवर्तन में** *नरसी मीना, निदेशक, वित्तीय अध्ययन एवं विश्लेषण प्रभाग, केविप्रा*	36
11.	**डीजल जनरेटर (DGs): न्यूक्लियर पावर प्लांट की सुरक्षा में एक अपरिहार्य स्तंभ।** *मुकुल कुमार, उप निदेशक, बजट अनुभाग, केविप्रा*	38
12.	**विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा : ऊर्जा संकट का समाधान** *अल्पना श्रीवास्तव, वैयक्तिक सहायक, बजट एवं लेखा, केविप्रा*	40
13.	**परमाणु ऊर्जा : प्रगति का उज्ज्वल दीपक** *पवन कुमार, वरिष्ठ कार्यकारी अभियंता, एनपीसीआईएल*	45
14.	**भारत में परमाणु ऊर्जा (अवसर तथा चुनौतियाँ)** *शिवानी, एम. टी. एस, बजट एवं लेखा, केविप्रा*	47
15.	**परमाणु ऊर्जा मिशन एवं स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMRs)** *नितिन देसवाल, उप निदेशक, विद्युत प्रणाली योजना एवं मूल्यांकन- I प्रभाग (पीएसपीए-I), केविप्रा*	49
16.	**परमाणु ऊर्जा की फ्लेक्सिबिलिटी: निम्न-कार्बन विद्युत की आवश्यकता** *जितेन्द्र कुमार मीणा, निदेशक, समन्वित संसाधन योजना प्रभाग, केविप्रा*	53
17.	**कविता- 'ऊषा - अदम्य साहस की परिभाषा'** *पुष्पा रानी राव, पीएसओ, उत्तर क्षेत्रीय विद्युत समिति (एनआरपीसी)*	60
18.	**महँगाई से बचने के फॉर्मूले** *ऊषा वर्मा, पूर्व उप निदेशक (रा.भा.),* *दिव्या माँदीवाल, कनिष्ठ अनुवाद अधिकारी, राजभाषा अनुभाग, केविप्रा*	61
19.	**फोटो फीचर एवं उपलब्धियां**	62

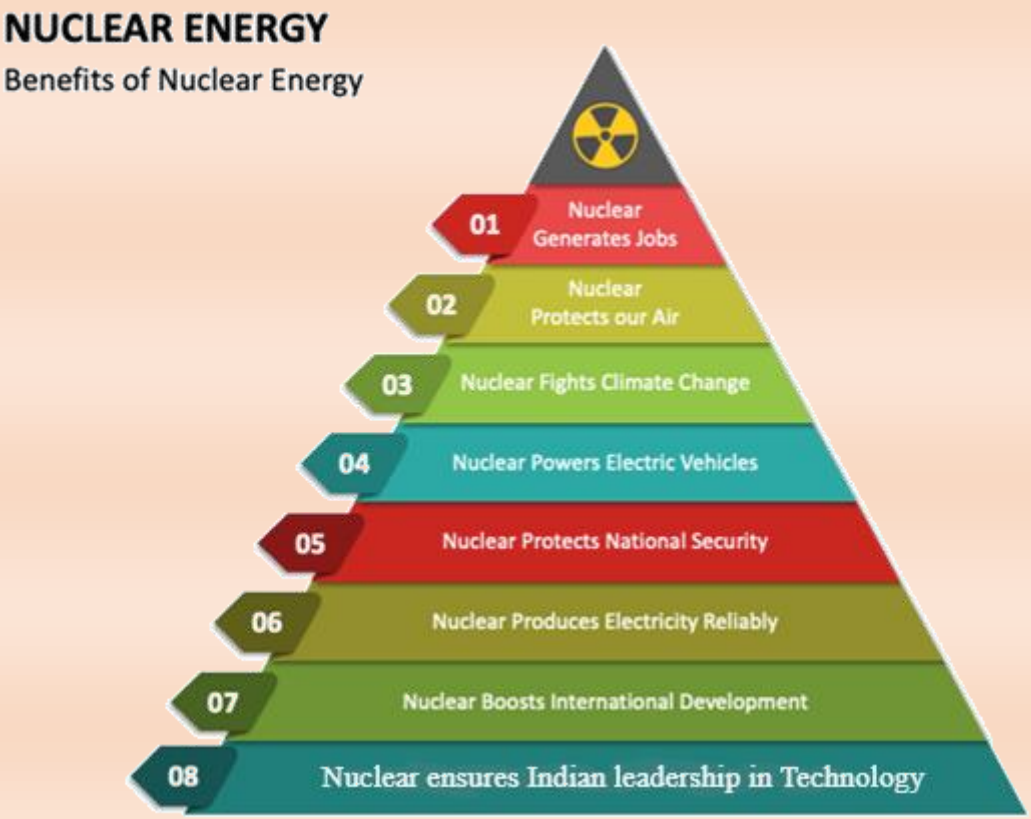
विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान: सतत् विकास की ओर एक अभ्युदय

गौरव गोयल, सहायक निदेशक-I, संचालन प्रदर्शन निगरानी प्रभाग (ओपीएम डिवीजन)

1. प्रस्तावना

वर्षों से मानवता की प्रगति का मूल आधार ऊर्जा का निरंतर और विश्वसनीय स्रोत रहा है। जैसे-जैसे भारत एक विकसित राष्ट्र बनने की दिशा में अग्रसर है, हमारी ऊर्जा की मांग तीव्र गति से बढ़ रही है। पारंपरिक जीवाश्म ईंधन की अपनी स्वाभाविक सीमाएँ हैं और उनसे होने वाले पर्यावरणीय प्रदूषण ने विश्व को नवीकरणीय तथा स्वच्छ ऊर्जा स्रोतों की ओर अग्रसर होने के लिए प्रेरित किया है।

इस वैश्विक मंथन के बीच, परमाणु ऊर्जा ने अपनी अद्वितीय उच्च ऊर्जा घनता, लगभग शून्य कार्बन उत्सर्जन और निरंतर विद्युत आपूर्ति की क्षमता के कारण एक विशेष स्थान ग्रहण किया है। यह लेख "विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा के योगदान" का तकनीकी और विकासात्मक दृष्टिकोण से विश्लेषण करेगा, जो भारत के 'पंचामृत' लक्ष्यों और ऊर्जा आत्मनिर्भरता के स्वप्न को साकार करने में महत्वपूर्ण है।



2. परमाणु ऊर्जा: परिचय एवं भारत की विकास यात्रा

परमाणु ऊर्जा का मूल सिद्धांत नाभिकीय विखंडन (Nuclear Fission) है, जिसमें यूरेनियम-235 या प्लूटोनियम-239 जैसे भारी परमाणु के नाभिक को न्यूट्रॉन से विखंडित किया जाता है, जिससे अत्यधिक मात्रा में ऊष्मा उत्पन्न होती है। इस ऊष्मा का उपयोग पानी को भाप में बदलकर टरबाइन चलाने और बिजली बनाने के लिए किया जाता है।

भारत की गौरवपूर्ण यात्रा: भारत की परमाणु गाथा आत्मनिर्भरता की एक मिसाल है, जिसे डॉ. होमी जहांगीर भाभा द्वारा परिकल्पित त्रि-चरणीय परमाणु कार्यक्रम ने दिशा दी है:

प्रथम चरण: दाबित भारी जल रिएक्टर (PHWRs), जो स्वदेशी तकनीक पर आधारित हैं और प्राकृतिक यूरेनियम का उपयोग करते हैं।

द्वितीय चरण: फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (FBRs), जो उपयोग किए गए ईंधन से अधिक ईंधन का उत्पादन करते हैं, जिससे ऊर्जा सुरक्षा कई गुना बढ़ जाती है।

तृतीय चरण: थोरियम-आधारित रिएक्टर, जो भारत के विशाल थोरियम भंडारों का उपयोग कर हमें सदियों की ऊर्जा आत्मनिर्भरता प्रदान करेंगे।

आज भारत में 24 रिएक्टर कार्यरत हैं, जिनकी कुल स्थापित क्षमता लगभग 8,780 मेगावाट है। सरकार द्वारा 'फ्लीट मोड' में 10 नए स्वदेशी रिएक्टरों को दी गई मंजूरी इस यात्रा को नई गति प्रदान कर रही है।

3. विद्युत उत्पादन में निर्णायक योगदान

- **अतुलनीय ऊर्जा घनता:** परमाणु ईंधन का ऊर्जा घनत्व अत्यधिक होता है। जहाँ कुछ किलोग्राम यूरेनियम से गीगावाट-घंटे विद्युत का उत्पादन संभव है, वहीं इतनी ही ऊर्जा के लिए लाखों टन कोयले की आवश्यकता होती है।
- **निरंतर और विश्वसनीय आपूर्ति (बेस-लोड पावर):** सौर और पवन ऊर्जा के विपरीत, परमाणु रिएक्टर मौसम की स्थिति से अप्रभावित रहकर दिन-रात, 24x7 बिजली उत्पन्न करते हैं। इनका **क्षमता कारक (Capacity Factor) 90%** से भी अधिक होता है, जो जीवाश्म ईंधन संयंत्रों से भी बेहतर है और ग्रिड को स्थिरता प्रदान करता है।
- **पर्यावरणीय लाभ:** चूँकि परमाणु विखंडन की प्रक्रिया में कार्बन डाइऑक्साइड (CO_2) का उत्सर्जन नगण्य होता है, यह जलवायु परिवर्तन की वैश्विक चुनौती से मुकाबले में एक प्रमुख स्तंभ है।

4. तकनीकी चुनौतियाँ एवं नवाचार

परमाणु ऊर्जा का मार्ग चुनौतियों से रहित नहीं है, परंतु निरंतर शोध और नवाचार इन बाधाओं को दूर कर रहे हैं।

चुनौतियाँ	नवीन समाधान एवं शोध
ईंधन पुनःप्रसंस्करण (Reprocessing) की जटिलता एवं लागत	उन्नत भारी जल रिएक्टर (AHWR) में थोरियम चक्र का विकास, जो ईंधन का बेहतर उपयोग सुनिश्चित करता है।
परमाणु अपशिष्ट का सुरक्षित प्रबंधन	दीर्घकालीन भू-गर्भीय भंडारण (Deep Geological Repositories) और विट्रिफिकेशन (Vitrification) जैसी उन्नत तकनीकें।
सुरक्षा एवं दुर्घटना-रोकथाम	पैसिव सेफ्टी सिस्टम (Passive Safety Systems), जो मानवीय या यांत्रिक विफलता की स्थिति में रिएक्टर को स्वतः सुरक्षित मोड में ले जाते हैं।
रिएक्टर डिज़ाइन और दक्षता	फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (FBR) और मिश्रित-ऑक्साइड (MOX) ईंधन का विकास, जो ईंधन चक्र को और अधिक कुशल बनाते हैं।

5. वैश्विक सहयोग एवं राष्ट्रीय रणनीति

अंतर्राष्ट्रीय परमाणु ऊर्जा एजेंसी (IAEA) और परमाणु अप्रसार संधि (NPT) के माध्यम से भारत वैश्विक स्तर पर परमाणु सुरक्षा और शांतिपूर्ण ऊर्जा सहयोग में एक जिम्मेदार भागीदार है। राष्ट्रीय स्तर पर, **'आत्मनिर्भर भारत'** और **'मेक इन इंडिया'** के तहत हमारी स्वदेशी क्षमता ने हमें दुनिया के चुनिंदा देशों में खड़ा कर दिया है। सरकार की **"मिश्रित ऊर्जा पोर्टफोलियो"** रणनीति का लक्ष्य भविष्य में परमाणु ऊर्जा की हिस्सेदारी को महत्वपूर्ण रूप से बढ़ाना है। इस दिशा में पारदर्शिता और जन-जागरूकता भी अत्यंत आवश्यक है।

6. भविष्य की दिशा: नव-प्रौद्योगिकी की ओर

- **संलयन ऊर्जा (Fusion Energy):** यह सूर्य की ऊर्जा का स्रोत है। ड्यूटेरियम-ट्राइटियम (D-T) अभिक्रिया पर आधारित फ्यूजन रिएक्टर असीमित और लगभग अपशिष्ट-मुक्त ऊर्जा का भविष्य हैं, जिन पर विश्वभर में शोध कार्य प्रगति पर है।
- **छोटे मॉड्यूलर रिएक्टर (SMRs):** ये छोटे, पोर्टेबल और कारखानों में निर्मित किए जा सकने वाले रिएक्टर हैं, जो दूरदराज के क्षेत्रों, आपदा राहत और विशिष्ट औद्योगिक अनुप्रयोगों के लिए क्रांति ला सकते हैं।
- **स्मार्ट ग्रिड के साथ एकीकरण:** भविष्य के स्मार्ट ग्रिड में परमाणु ऊर्जा, नवीकरणीय ऊर्जा (सौर, पवन) के साथ मिलकर एक लचीला, सुदृढ़ और भरोसेमंद विद्युत नेटवर्क का निर्माण करेगी।

7. निष्कर्ष

परमाणु ऊर्जा ने विद्युत क्षेत्र को एक ऐसे अध्याय से परिचित कराया है, जहाँ उच्च उत्पादन, न्यून उत्सर्जन और निरंतर आपूर्ति एक साथ संभव है। यद्यपि चुनौतियाँ विद्यमान हैं, तथापि सुरक्षा नवाचार, अपशिष्ट प्रबंधन की प्रगतियाँ और राष्ट्रीय-अंतर्राष्ट्रीय साझेदारी इस पथ को सुगम और सुरक्षित बना रही हैं। भविष्य में संलयन ऊर्जा और छोटे मॉड्यूलर रिएक्टर जैसी तकनीकें हमें **"ऊर्जा आत्मनिर्भरता"** और **"पर्यावरणीय संतुलन"** दोनों लक्ष्यों को एक साथ प्राप्त करने में सक्षम बनाएंगी। **"जब परमाणु शक्ति को मिलेगा विज्ञान व पर्यावरण का साथ, तब उज्ज्वल भविष्य सिंचित होगा हर माध्यम और पथ।"**

******

विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का ऊर्जा परिवर्तन में योगदान

चेतन शर्मा, उप निदेशक, स्वच्छ ऊर्जा एवं ऊर्जा परिवर्तन प्रभाग

परमाणु ऊर्जा, जिसे नाभिकीय ऊर्जा भी कहा जाता है, भारत की ऊर्जा रणनीति का एक महत्वपूर्ण हिस्सा है। यह परमाणु नाभिक के विखंडन (nuclear fission) के माध्यम से उत्पन्न होती है और स्वच्छ, विश्वसनीय और टिकाऊ ऊर्जा प्रदान करने की क्षमता रखती है। भारत में परमाणु ऊर्जा परमाणु ऊर्जा विभाग (DAE) द्वारा संचालित की जाती है, जो स्वदेशी तकनीकों और अंतरराष्ट्रीय सहयोग के माध्यम से ऊर्जा सुरक्षा, कार्बन उत्सर्जन में कमी और आर्थिक विकास को बढ़ावा देता है। यह लेख परमाणु ऊर्जा के स्वच्छ ऊर्जा में योगदान, डेटा सेंटर, कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) क्रांति, और इलेक्ट्रिक वाहनों (EV) जैसे उभरते क्षेत्रों की ऊर्जा आवश्यकताओं, तथा भारत में इसके भविष्य के योगदान पर केंद्रित है।

भारत में परमाणु ऊर्जा: वर्तमान स्थिति

भारत का परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम स्वदेशी तकनीकों और अंतरराष्ट्रीय सहयोग पर आधारित है। वर्तमान में, भारत में कई परमाणु रिएक्टर संचालित हैं, जिनकी कुल स्थापित क्षमता 8780 मेगावाट है, जो देश के कुल बिजली उत्पादन क्षमता का लगभग 1.8 % है। भारत ने एक अनूठा तीन-चरणीय परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम अपनाया है, जो इसके विशाल थोरियम भंडारों का प्रभावी उपयोग करता है:

Kudankulam nuclear power plant in Tamil Nadu, southern India. Credit: Reetesh Chaurasia

1. **पहला चरण:** प्रेशराइज्ड हैवी वॉटर रिएक्टर (PHWR) में प्राकृतिक यूरेनियम का उपयोग।
2. **दूसरा चरण:** तेज प्रजनक रिएक्टर (Fast Breeder Reactor) का विकास, जो प्लूटोनियम का उपयोग करता है।
3. **तीसरा चरण:** थोरियम-आधारित उन्नत रिएक्टरों का उपयोग, जो दीर्घकालिक टिकाऊ ऊर्जा उत्पादन सुनिश्चित करता है।

यह कार्यक्रम ऊर्जा सुरक्षा को बढ़ाता है और भारत के 2070 तक नेट-जीरो उत्सर्जन के लक्ष्य के अनुरूप कम कार्बन ऊर्जा प्रदान करता है।

स्वच्छ ऊर्जा की ओर परिवर्तन में परमाणु ऊर्जा की भूमिका

परमाणु ऊर्जा जीवाश्म ईंधन आधारित ऊर्जा स्रोतों की तुलना में न्यूनतम कार्बन उत्सर्जन के साथ बिजली उत्पन्न करती है, जो इसे भारत के स्वच्छ ऊर्जा लक्ष्यों के लिए महत्वपूर्ण बनाती है।

- **कम कार्बन पदचिह्न:** परमाणु संयंत्रों का जीवन चक्र उत्सर्जन सौर और पवन ऊर्जा के समान है, लेकिन यह 24/7 विश्वसनीय बिजली प्रदान करता है, जो आधारभूत भार (base load) के लिए आदर्श है।
- **नवीकरणीय ऊर्जा के साथ पूरकता:** सौर और पवन ऊर्जा मौसम पर निर्भर हैं, जबकि परमाणु ऊर्जा स्थिर आपूर्ति सुनिश्चित करती है, जिससे ग्रिड स्थिरता बढ़ती है।
- **उच्च ऊर्जा घनत्व:** थोड़ी मात्रा में परमाणु ईंधन से बड़ी मात्रा में ऊर्जा उत्पन्न होती है, जो इसे जीवाश्म ईंधनों की तुलना में अत्यधिक कुशल बनाता है।
- **ऊर्जा मिश्रण में विविधता:** परमाणु ऊर्जा आयातित जीवाश्म ईंधनों पर निर्भरता कम करती है, जिससे ऊर्जा सुरक्षा बढ़ती है और मूल्य अस्थिरता का जोखिम घटता है।

उभरते क्षेत्रों में परमाणु ऊर्जा की भूमिका

आधुनिक अर्थव्यवस्था में डेटा सेंटर, AI, और इलेक्ट्रिक वाहन (EV) जैसे क्षेत्रों में बिजली की मांग तेजी से बढ़ रही है। परमाणु ऊर्जा इन क्षेत्रों की ऊर्जा आवश्यकताओं को पूरा करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती है।

1. डेटा सेंटर और AI क्रांति

AI और क्लाउड कंप्यूटिंग ने बिजली की खपत को अभूतपूर्व स्तर पर पहुंचा दिया है। माइक्रोसॉफ्ट, गूगल, और अमेज़ॅन जैसे वैश्विक दिग्गज अपने डेटा सेंटरों और विनिर्माण इकाइयों के लिए स्वच्छ ऊर्जा को प्राथमिकता देते हैं ताकि पर्यावरण, सामाजिक और शासन (ESG) मानकों का पालन हो। भारत में इन कंपनियों को आकर्षित करने के लिए स्वच्छ और विश्वसनीय बिजली प्रदान करना अनिवार्य है।

- **विश्वसनीयता:** परमाणु संयंत्र 90% से अधिक क्षमता उपयोग दर (capacity factor) के साथ

18-24 महीनों तक लगातार बिजली प्रदान करते हैं, जो डेटा सेंटरों के लिए निर्बाध आपूर्ति सुनिश्चित करता है।

- **ESG अनुपालन:** परमाणु ऊर्जा से संचालित डेटा सेंटर कार्बन-तटस्थता लक्ष्यों को प्राप्त करने में मदद करते हैं, जिससे भारत वैश्विक तकनीकी केंद्र के रूप में आकर्षक बनता है।
- **छोटे मॉड्यूलर रिएक्टर (SMRs):** भविष्य में, SMRs डेटा सेंटरों के लिए स्थानीयकृत, लागत-कुशल और स्वच्छ ऊर्जा समाधान प्रदान कर सकते हैं।

2. इलेक्ट्रिक वाहन (EV) और स्वच्छ बिजली

भारत में इलेक्ट्रिक वाहनों की मांग तेजी से बढ़ रही है, और इसके लिए स्वच्छ और विश्वसनीय बिजली आवश्यक है।

- **चार्जिंग बुनियादी ढांचा:** परमाणु ऊर्जा EV चार्जिंग स्टेशनों को स्थिर बिजली आपूर्ति प्रदान करती है, विशेष रूप से शहरी क्षेत्रों में।
- **स्वच्छ बिजली:** परमाणु ऊर्जा से संचालित EV चार्जिंग स्टेशन परिवहन क्षेत्र के कार्बन पदचिह्न को कम करते हैं, जिससे विद्युतीकरण टिकाऊ बनता है।
- **ग्रिड स्थिरता:** परमाणु ऊर्जा की निरंतर आपूर्ति EV की मांग के उतार-चढ़ाव को संतुलित करती है, जिससे ग्रिड पर दबाव कम होता है।

भारत में परमाणु ऊर्जा: वर्तमान योगदान और भविष्य की आवश्यकता

वर्तमान में, भारत में परमाणु ऊर्जा की हिस्सेदारी कुल बिजली उत्पादन का केवल 3% है, जो ऐतिहासिक और संरचनात्मक बाधाओं के कारण सीमित रही है। 2025 तक, 22 रिएक्टरों की कुल स्थापित क्षमता 7,480 मेगावाट से अधिक है। भारत ने 2032 तक 22,480 मेगावाट तक पहुंचने का लक्ष्य रखा है, जो स्वच्छ और विश्वसनीय ऊर्जा की बढ़ती मांग को पूरा करने में महत्वपूर्ण होगा।

- **वैश्विक ESG मानकों का अनुपालन:** वैश्विक AI और क्लाउड कंपनियां, जैसे माइक्रोसॉफ्ट, गूगल, और अमेज़ॅन, अपने डेटा सेंटरों और विनिर्माण इकाइयों के लिए स्वच्छ ऊर्जा को प्राथमिकता देती हैं। भारत में इन कंपनियों को आकर्षित करने के लिए परमाणु ऊर्जा जैसे स्वच्छ और विश्वसनीय ऊर्जा स्रोत प्रदान करना अनिवार्य है। यह भारत को वैश्विक तकनीकी केंद्र के रूप में स्थापित करेगा और ESG अनुपालन के माध्यम से वैश्विक आपूर्ति श्रृंखला में उसकी स्थिति को मजबूत करेगा।
- **ऊर्जा सुरक्षा और आत्मनिर्भरता:** भारत के थोरियम भंडार भविष्य में थोरियम-आधारित रिएक्टरों के लिए आधार प्रदान करते हैं, जो ऊर्जा आत्मनिर्भरता को बढ़ावा देगा।
- **आर्थिक और सामाजिक लाभ:** परमाणु संयंत्रों का निर्माण और संचालन रोजगार सृजन करता है और स्थानीय अर्थव्यवस्था को बढ़ावा देता है। यह ग्रामीण क्षेत्रों में स्वच्छ बिजली आपूर्ति को भी समर्थन देता है, जो डिजिटल अर्थव्यवस्था और AI-संचालित सेवाओं के लिए महत्वपूर्ण है।

चुनौतियाँ

भारत में परमाणु ऊर्जा के विस्तार में कई ऐतिहासिक और संरचनात्मक बाधाएँ रही हैं, जिन्हें दूर किए बिना सार्थक वृद्धि संभव नहीं है। प्रमुख चुनौतियाँ निम्नलिखित हैं:

1. **भूमि अधिग्रहण और सुरक्षा चिंताएँ:** परमाणु संयंत्रों के लिए बड़े क्षेत्र की आवश्यकता होती है, और स्थानीय समुदायों में भूमि अधिग्रहण और विस्थापन को लेकर विरोध आम है। चेर्नोबिल और फुकुशिमा जैसी घटनाओं ने सुरक्षा के प्रति जनता में भय पैदा किया है। भारत में कड़े सुरक्षा मानक लागू हैं, लेकिन जनता का विश्वास बनाए रखने के लिए पारदर्शिता और जागरूकता आवश्यक है।
2. **उन्नत तकनीकों की उपलब्धता:** छोटे मॉड्यूलर रिएक्टर (SMRs) और उन्नत रिएक्टर डिज़ाइन लागत और निर्माण समय को कम कर सकते हैं, लेकिन भारत में ये अभी प्रारंभिक चरण में हैं। इनके व्यावसायीकरण के लिए निवेश और अनुसंधान की आवश्यकता है।
3. **नाभिकीय ईंधन की आपूर्ति:** भारत ने परमाणु अप्रसार संधि (NPT) पर हस्ताक्षर नहीं किए

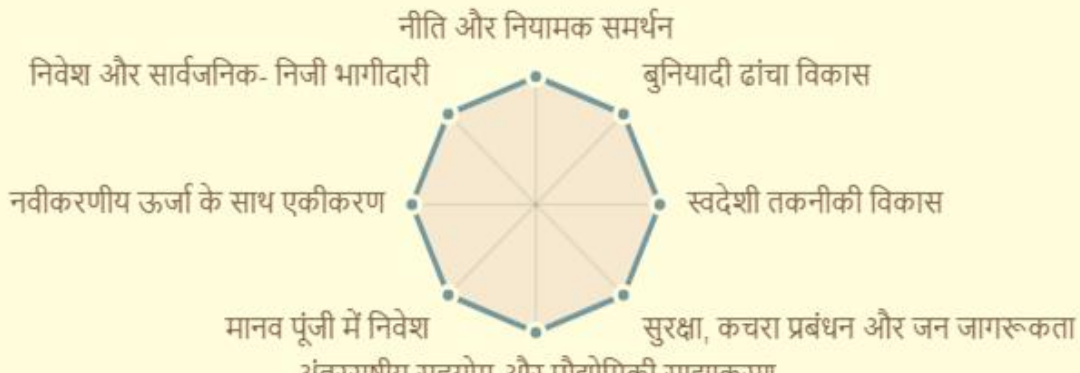
हैं, जिसके कारण यूरेनियम और तकनीक की अंतरराष्ट्रीय आपूर्ति में बाधाएँ आती हैं। भारत-यूएस परमाणु समझौता और परमाणु आपूर्तिकर्ता समूह (NSG) में छूट ने राहत दी है, लेकिन दीर्घकालिक ईंधन आपूर्ति एक चुनौती है।

4. **थोरियम-आधारित तकनीक का व्यावसायीकरण:** भारत के थोरियम भंडार दीर्घकालिक ऊर्जा समाधान प्रदान कर सकते हैं, लेकिन थोरियम-आधारित रिएक्टर अभी तक बड़े पैमाने पर व्यावसायिक नहीं हुए हैं।
5. **ग्रिड बुनियादी ढांचे की तैयारियां:** बड़े पैमाने पर परमाणु ऊर्जा को ग्रिड में एकीकृत करने के लिए मजबूत और आधुनिक ग्रिड की आवश्यकता है। भारत का मौजूदा ग्रिड अभी पूरी तरह तैयार नहीं है, जिसके लिए बड़े पैमाने पर निवेश और उन्नयन चाहिए।
6. **उच्च पूंजी लागत:** परमाणु संयंत्रों का निर्माण अन्य ऊर्जा स्रोतों की तुलना में महंगा है, और नियामक व नौकरशाही देरी परियोजनाओं को और जटिल बनाती है।
7. **नाभिकीय कचरा प्रबंधन:** रेडियोधर्मी कचरे का सुरक्षित निपटान एक जटिल चुनौती है, जिसके लिए उन्नत तकनीकों और जन स्वीकृति की आवश्यकता है।

राष्ट्रीय रणनीति: परमाणु ऊर्जा का त्वरित विस्तार

परमाणु ऊर्जा की क्षमता का पूर्ण उपयोग करने के लिए एक समन्वित रणनीति आवश्यक है:

परमाणु ऊर्जा का त्वरित विस्तार हेतु रणनीतिक स्तंभ



1. **नीति और नियामक समर्थन:**
   - **तेज़ अनुमोदन प्रक्रिया:** नियामक प्रक्रियाओं को सरल और त्वरित करना, साथ ही उच्च सुरक्षा और पर्यावरण मानकों का पालन सुनिश्चित करना।
   - **प्रोत्साहन नीतियां:** निजी क्षेत्र की भागीदारी को प्रोत्साहित करने के लिए दीर्घकालिक नीतियां और प्रोत्साहन।
2. **बुनियादी ढांचा विकास:**
   - **संयंत्र विस्तार:** मौजूदा संयंत्रों का विस्तार और नए रिएक्टरों का निर्माण।
   - **ग्रिड उन्नयन:** परमाणु ऊर्जा को समायोजित करने के लिए ट्रांसमिशन और वितरण नेटवर्क को मजबूत करना।
3. **स्वदेशी तकनीकी विकास:**
   - **FBR और थोरियम रिएक्टर:** तेज प्रजनक रिएक्टरों और थोरियम-आधारित रिएक्टरों में निवेश।
   - **SMR और नवाचार:** छोटे, सुरक्षित और लागत-कुशल रिएक्टर डिज़ाइनों पर अनुसंधान।
4. **सुरक्षा और जन जागरूकता:**
   - **विश्व-स्तरीय सुरक्षा:** अंतरराष्ट्रीय सुरक्षा मानकों का पालन और नियमित उन्नयन।

- **कचरा प्रबंधन:** रेडियोधर्मी कचरे के लिए सुरक्षित और दीर्घकालिक समाधान, जैसे पुनर्चक्रण।
- **जन जागरूकता:** पारदर्शी संचार और सामुदायिक सहभागिता के माध्यम से जनता का विश्वास जीतना।

5. **अंतरराष्ट्रीय सहयोग:**
- **वैश्विक साझेदारी:** अमेरिका, फ्रांस और रूस जैसे देशों के साथ सहयोग बढ़ाना।
- **परमाणु समझौते:** भारत-यूएस परमाणु समझौते जैसे समझौतों का विस्तार।

6. **मानव पूंजी निवेश:**
- **कुशल कार्यबल:** परमाणु विज्ञान और तकनीक में शिक्षा और प्रशिक्षण को बढ़ावा देना।
- **अनुसंधान और विकास:** रिएक्टर दक्षता और लागत में कमी के लिए स्वदेशी अनुसंधान।

7. **नवीकरणीय ऊर्जा के साथ एकीकरण:**
- **पूरकता:** परमाणु ऊर्जा को सौर और पवन जैसे नवीकरणीय स्रोतों के साथ जोड़ना।
- **हाइब्रिड सिस्टम:** अधिक लचीलापन और स्थिरता के लिए हाइब्रिड ऊर्जा प्रणालियों का विकास।

8. **वित्तीय निवेश:**
- **सार्वजनिक-निजी भागीदारी:** निजी निवेश को प्रोत्साहित करने के लिए PPP मॉडल।
- **लागत दक्षता:** निर्माण समय और परिचालन लागत को कम करना।

भविष्य की संभावनाएँ

भारत में परमाणु ऊर्जा की भविष्य की संभावनाएँ उज्ज्वल हैं, बशर्ते उपरोक्त चुनौतियों को प्रभावी ढंग से संबोधित किया जाए। तेज प्रजनक रिएक्टर, थोरियम-आधारित रिएक्टर, और छोटे मॉड्यूलर रिएक्टर (SMRs) पर शोध चल रहा है। ये तकनीकें लागत को कम करेंगी और परमाणु ऊर्जा को अधिक सुलभ बनाएंगी। संलयन ऊर्जा भविष्य में डेटा सेंटरों और ईवी (EV) चार्जिंग नेटवर्क जैसे उभरते क्षेत्रों के लिए स्वच्छ समाधान प्रदान कर सकती है।

निष्कर्ष

वर्तमान में भारत में परमाणु ऊर्जा की हिस्सेदारी सीमित है, लेकिन यह स्वच्छ ऊर्जा परिवर्तन और उभरते क्षेत्रों की बढ़ती मांग को पूरा करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकती है। डेटा सेंटर, ए आई (AI) क्रांति, और इलेक्ट्रिक वाहनों जैसे क्षेत्रों में स्वच्छ और विश्वसनीय बिजली प्रदान करना वैश्विक ईएसजी (ESG) मानकों के अनुपालन और भारत को तकनीकी केंद्र के रूप में स्थापित करने की आवश्यकता है। ऐतिहासिक बाधाएँ जैसे भूमि अधिग्रहण, उन्नत तकनीकों की कमी, ईंधन आपूर्ति, थोरियम तकनीक का व्यावसायीकरण, और ग्रिड बुनियादी ढांचे की कमियों को दूर करने के लिए समन्वित नीतिगत सुधार, निवेश और जन जागरूकता आवश्यक है। इन चुनौतियों को संबोधित करने पर ही परमाणु ऊर्जा भारत के टिकाऊ और विश्वसनीय ऊर्जा भविष्य को आकार दे सकती है, जो आर्थिक विकास और जलवायु लक्ष्यों को समर्थन देगा।

******

परमाणु ऊर्जा और ऊर्जा संक्रमण: नेट-ज़ीरो लक्ष्य की प्राप्ति में भूमिका

विकल्प सैनी, सहायक निदेशक-1, टीपीआरएम

प्रस्तावना

जलवायु परिवर्तन अब कोई दूर का खतरा नहीं, बल्कि हमारे सामने खड़ी सच्चाई है। बढ़ता वैश्विक तापमान, अनियमित वर्षा, समुद्र का बढ़ता स्तर और चरम मौसम की घटनाएँ यह स्पष्ट करती हैं कि ऊर्जा उत्पादन प्रणाली को बदलना अब विकल्प नहीं, बल्कि अनिवार्यता है। भारत ने **2070** तक **नेट-ज़ीरो लक्ष्य** हासिल करने का संकल्प लिया है। इस दिशा में जहाँ सौर और पवन ऊर्जा का योगदान तेजी से बढ़ रहा है, वहीं **परमाणु ऊर्जा** भी एक सशक्त स्तंभ के रूप में उभर रही है–क्योंकि यह

बड़े पैमाने पर बिजली उत्पादन के साथ-साथ लगभग शून्य कार्बन उत्सर्जन सुनिश्चित करती है।

स्वच्छ ऊर्जा का विश्वसनीय आधार

कोयला आधारित संयंत्र जहाँ प्रति यूनिट उत्पादन पर भारी मात्रा में कार्बन उत्सर्जित करते हैं, वहीं परमाणु ऊर्जा लगभग **कार्बन-शून्य** है। यही कारण है कि विश्व स्तर पर इसे **दीर्घकालिक, टिकाऊ और स्वच्छ ऊर्जा का आधार** माना जा रहा है। भारत जैसे विशाल देश, जहाँ ऊर्जा की मांग निरंतर बढ़ रही है, के लिए परमाणु ऊर्जा भविष्य की नींव साबित हो सकती है।

ग्रिड स्थिरता में परमाणु की भूमिका

नवीकरणीय ऊर्जा स्रोत (सौर और पवन) निस्संदेह ऊर्जा संक्रमण का प्रमुख आधार हैं, परंतु उनकी **अनियमितता और मौसम पर निर्भरता** ग्रिड की स्थिरता के लिए चुनौती बनती है। इसके विपरीत, परमाणु संयंत्र चौबीसों घंटे स्थिर और निरंतर बिजली उपलब्ध कराते हैं। आधुनिक रिएक्टर डिज़ाइन अब इस तरह विकसित हो रहे हैं कि वे लचीले ढंग से भी संचालित हो सकें, जिससे नवीकरणीय ऊर्जा के उतार-चढ़ाव को बेहतर ढंग से संतुलित किया जा सके।

भारत का परमाणु ऊर्जा परिदृश्य

वर्तमान में भारत की स्थापित परमाणु क्षमता लगभग **8.1 गीगावाट** है, जो कुल विद्युत उत्पादन का करीब **1.68%** है। सरकार ने वर्ष 2032 तक इसे **22 गीगावाट** तक बढ़ाने का लक्ष्य रखा है। हमारे यहाँ मुख्य रूप से **प्रेशराइज्ड हेवी वाटर रिएक्टर (PHWR)** चल रहे हैं, जबकि आने वाले वर्षों में **फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (FBR)** और **स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMR)** जैसे आधुनिक विकल्प भी शामिल किए जाएंगे। इन प्रयासों से न केवल ऊर्जा सुरक्षा मजबूत होगी बल्कि नेट-ज़ीरो की राह भी प्रशस्त होगी।

स्वदेशी संसाधन और थोरियम की क्षमता

भारत के पास सीमित यूरेनियम भंडार हैं, लेकिन थोरियम संसाधनों की प्रचुरता हमें अलग पहचान देती है। यही कारण है कि भारत ने तीन-चरणीय परमाणु कार्यक्रम अपनाया है–पहले चरण में यूरेनियम आधारित रिएक्टर, दूसरे में प्लूटोनियम आधारित ब्रीडर रिएक्टर और तीसरे में थोरियम आधारित रिएक्टर। यदि यह कार्यक्रम सफलतापूर्वक साकार होता है, तो भारत दीर्घकालिक रूप से **आत्मनिर्भर और टिकाऊ परमाणु शक्ति** बन जाएगा।

चुनौतियाँ जिनसे पार पाना होगा

- **सुरक्षा की चिंता:** चेरनोबिल और फुकुशिमा जैसी दुर्घटनाओं की स्मृति आज भी लोगों के मन में भय पैदा करती है।
- **उच्च लागत:** परमाणु संयंत्रों के निर्माण की शुरुआती लागत बहुत अधिक होती है।
- **रेडियोधर्मी अपशिष्ट प्रबंधन:** सुरक्षित और दीर्घकालिक निपटान तकनीक की आवश्यकता है।
- **जन-स्वीकृति:** स्थानीय समुदायों का विश्वास और नीति संबंधी स्पष्टता परियोजनाओं को गति देने के लिए जरूरी है।

निष्कर्ष

भारत का ऊर्जा भविष्य बहुआयामी है। सौर, पवन, जल और भंडारण प्रौद्योगिकियाँ अपनी जगह महत्वपूर्ण हैं, किंतु इनके बीच **परमाणु ऊर्जा** एक ऐसा स्तंभ है जो स्थिरता, विश्वसनीयता और स्वच्छता तीनों प्रदान करता है। यदि भारत अपने नेट-ज़ीरो संकल्प को गंभीरता से पूरा करना चाहता है, तो परमाणु ऊर्जा का विस्तार अपरिहार्य है।

आगे की राह

आने वाले वर्षों में भारत को निम्नलिखित दिशा में कदम बढ़ाने होंगे:

- **स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर और थोरियम आधारित रिएक्टर** पर शोध और विकास को तेज़ करना
- **वित्तीय और नीतिगत ढाँचे** को अधिक अनुकूल बनाना
- **अंतरराष्ट्रीय सहयोग** का विस्तार करना, ताकि तकनीक और निवेश दोनों प्राप्त हो सकें
- जन-चेतना और विश्वास को बढ़ाने के लिए **सुरक्षा और पारदर्शिता** पर विशेष ध्यान देना

भारत यदि इन पहलों को मजबूत रूप से अपनाता है, तो आने वाले दशकों में न केवल **नेट-ज़ीरो लक्ष्य**

प्राप्त करेगा, बल्कि वैश्विक स्तर पर **स्वच्छ ऊर्जा नेतृत्वकर्ता** के रूप में भी स्थापित हो सकेगा।

******

लघु मॉड्यूलर रिएक्टर (Small Modular Reactor)

राहुल राज, निदेशक, पीएसपीए-II

1. परिचय

जुलाई 2025 तक, भारत की परमाणु क्षमता 8780 मेगावाट (MW) थी जो देश की कुल स्थापित क्षमता 486 गीगावाट (GW) का 1.81% है। भारत अपने जलवायु लक्ष्यों और ऊर्जा सुरक्षा रणनीति के तहत 2030 तक 500 गीगावाट (GW) की स्थापित अक्षय ऊर्जा क्षमता हासिल करने के लिए प्रतिबद्ध है। यह महत्वाकांक्षी लक्ष्य कार्बन उत्सर्जन को कम करने और एक **सतत ऊर्जा भविष्य** की ओर बढ़ने एवं अक्टूबर 2016 में अनुसमर्थित **पेरिस समझौते (2015)** के तहत अंतर्राष्ट्रीय जलवायु प्रतिबद्धताओं को पूरा करने के लिए भारत की व्यापक योजना का एक प्रमुख घटक है। भारत का लक्ष्य 2047 तक 100 गीगावाट (GW) तक अपनी परमाणु ऊर्जा क्षमता का विस्तार करना है। यह 2047, तक महत्वाकांक्षी लक्ष्य **"विकसित भारत"** को हासिल करने और 2070 तक **"शुद्ध शून्य उत्सर्जन"** (Net Zero Emission) तक पहुंचने की देश की व्यापक रणनीति का हिस्सा है।

लघु मॉड्यूलर रिएक्टर (SMR) एक उन्नत परमाणु रिएक्टर है जिसकी विद्युत उत्पादन क्षमता 30 मेगावाट (MW) से लेकर 300+ मेगावाट (MW) तक हो सकती है, जो पारंपरिक बड़े परमाणु रिएक्टरों का एक लचीला, विस्तारणीय और लागत प्रभावी विकल्प प्रदान करते हैं। भारत की बढ़ती ऊर्जा माँग और विश्वसनीय, कम कार्बन ऊर्जा की आवश्यकता को देखते हुए, SMR नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों के पूरक और ग्रिड को स्थिर करने में एक परिवर्तनकारी भूमिका निभा सकता है। इसका मॉड्यूलर डिज़ाइन फ़ैक्टरी-आधारित निर्माण की अनुमति देता है, जिससे निर्माण समय और लागत कम होती है। यह उन्हें ऑन-ग्रिड और ऑफ-ग्रिड दोनों अनुप्रयोगों के लिए उपयुक्त बनाता है, जिसमें दूरस्थ स्थानों पर तैनाती भी शामिल है।

2. परमाणु प्रौद्योगिकी

परमाणु ऊर्जा का समग्र लाभ, कम सामग्री उपयोग और कम उत्सर्जन तीव्रता के संदर्भ में, जलवायु परिवर्तन शमन और ऊर्जा सुरक्षा में उनकी शक्तिशाली भूमिका को दर्शाता है।

अंतर्राष्ट्रीय परमाणु ऊर्जा एजेंसी (IAEA) के अनुसार, SMR उन्नत परमाणु रिएक्टर है जिसकी विद्युत उत्पादन क्षमता 30 मेगावाट (MW) से लेकर 300+ मेगावाट (MW) तक होती है। SMR तकनीक को इस प्रकार समझा जा सकता है: लघु (Small)- भौतिक रूप से एक पारंपरिक परमाणु ऊर्जा रिएक्टर के आकार का एक अंश। मॉड्यूलर (Modular)- सिस्टम और घटकों का कारखाने मे इकट्ठा करना और एक इकाई के रूप में स्थापना के लिए एक स्थान पर ले जाना संभव बनाता है। रिएक्टर (Reactors)- बिजली उत्पादन या प्रत्यक्ष अनुप्रयोग के लिए गर्मी उत्पन्न करने के लिए परमाणु विखंडन का उपयोग। SMR को कारखाने में उत्पादन और स्थापना के लिए परियोजना स्थल तक परिवहन के लिए डिज़ाइन किया गया है ताकि निर्माण समय को कम किया जा सके और क्रमिक उत्पादन की अर्थव्यवस्था को बढ़ावा दिया जा सके, जैसे कि मांग बढ़ने पर पावर मॉड्यूल जोड़ना।

लघु मॉड्यूलर रिएक्टर (SMRs) विभिन्न प्रकार की प्रौद्योगिकियों का उपयोग करते हैं। इन्हें मोटे तौर पर जल-शीतित, गस-शीतित, द्रव धातु-शीतित और पिघले हुए नमक (molten salt) रिएक्टर डिजाइनों में वर्गीकृत किया गया है। SMRs अनुकूलनीय हैं और इन्हें कम या ज्यादा बिजली की आपूर्ति के लिए बढ़ाया या घटाया जा सकता है। इसका उपयोग मौजूदा बिजली संयंत्रों को शून्य-

उत्सर्जन ईंधन के साथ पूरक करने या पुराने थर्मल पावर स्टेशनों को फिर से उपयोग करने में मदद करने के लिए भी किया जा सकता है।

3. विनियमन

सरकार परमाणु ऊर्जा क्षेत्र में घरेलू और विदेशी, निजी कंपनियों को शामिल करने पर विचार कर रही है। इसके लिए, सरकार **1962 के परमाणु ऊर्जा अधिनियम** और **2010 के परमाणु क्षति नागरिक दायित्व अधिनियम** में प्रमुख संशोधन प्रस्ताव पर विचार कर रही है, जिसका उद्देश्य निजी और विदेशी भागीदारी को और अधिक आकर्षित करना है।

भारत अपनी परमाणु महत्वाकांक्षाओं को गति देने के लिए सार्वजनिक-निजी भागीदारी (PPPs) को अपना रहा है। NPCIL और NTPC, इंडियन ऑयल कॉर्पोरेशन और अन्य निजी क्षेत्र की कंपनियों के बीच सहयोग राज्य पर वित्तीय बोझ कम करने में मदद कर सकता है और साथ ही इस क्षेत्र में गतिशीलता और नवाचार का संचार कर सकता है। परमाणु उपकरणों और प्रौद्योगिकियों के घरेलू निर्माण को बढ़ावा देने के लिए **"मेक इन इंडिया"** पहल पर ज़ोर दिया जा रहा है। यह नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों के विकास में सहायक है और विश्वसनीयता, उच्च क्षमता कारक, कम परिचालन व्यय, कम उत्सर्जन, प्रत्यक्ष रोजगार जैसे लाभ भी प्रदान करता है और बिजली संयंत्रों के पूरे जीवनचक्र में आर्थिक गतिविधि सुनिश्चित करता है।

4. चुनौतियां

SMR संयंत्र स्थापित करने के लिए बड़े निवेश की आवश्यकता हो सकती है। प्रौद्योगिकी विकासकर्ताओं के सामने प्रौद्योगिकी विकास, लाइसेंसिंग और प्रोटोटाइप संयंत्रों के निर्माण हेतु वित्त जुटाने की चुनौतियाँ हैं। विविध यूरेनियम ईंधन स्रोतों को सुरक्षित करना और विशिष्ट परमाणु उपकरणों के लिए विक्रेता आधार का विस्तार करना भी एक प्राथमिकता है। परमाणु ऊर्जा की सुरक्षा और लाभों के बारे में जनधारणा और जागरूकता बढ़ाना आवश्यक है। कुशल कार्यबल के निर्माण के लिए परमाणु शिक्षा और प्रशिक्षण में निवेश अत्यंत महत्वपूर्ण है। SMRs, प्रयुक्त ईंधन से रेडियोधर्मी अपशिष्ट भी उत्पन्न करते हैं और इसके लिए प्रयुक्त ईंधन भंडारण एवं निपटान सुविधाओं की आवश्यकता होती है। ऐसी आवश्यकता के तकनीकी और लागत संबंधी पहलुओं के अलावा, यह आवश्यकता सामाजिक-राजनीतिक प्रतिरोध का कारण भी बन सकती है।

लघु मॉड्यूलर रिएक्टर (SMR) की कई तकनीक उपलब्ध हैं और उपलब्ध तकनीकों की एक बड़ी संख्या को अगर एक ही समय में लागू किया जाए, तो न केवल परमाणु उद्योग के लिए नियामक चुनौतियाँ पैदा हो सकती हैं, बल्कि लागत अनुकूलन में भी कुछ हद तक बाधा आ सकती है। विकल्पों को कुछ SMR डिज़ाइनों तक सीमित करना होगा।

5. फ़ायदे

लघु मॉड्यूलर रिएक्टर बिजली क्षेत्र तेज़ी से डीकार्बोनाइज़ेशन का लक्ष्य हासिल कर सकता है। अर्थव्यवस्था में व्यापक उत्सर्जन में कमी के लिए अंतिम उपयोग क्षेत्रों का विद्युतीकरण महत्वपूर्ण है। SMRs में कुछ अंतर्निहित लाभ हो सकते हैं जो पारंपरिक परमाणु ऊर्जा रिएक्टरों से बिल्कुल अलग हैं, जैसे SMR की पावर रेटिंग, आवश्यक कुल संयंत्र क्षेत्र, मॉड्यूलर डिज़ाइन, गैर-विद्युत उपयोग, औद्योगिक सुविधाओं के साथ SMR का सह-स्थान, भूमिगत निर्माण आदि।

SMR व्यवहार्य ऊर्जा गुणक है और इसमें उद्योगों को कार्बन-मुक्त करने, पुराने जीवाश्म ईंधन संयंत्रों को पुनःस्थापित करने और स्मार्ट ग्रिड को निरंतर एवं विश्वसनीय बिजली प्रदान करने की क्षमता है। कार्बन उत्सर्जन को कम करने और 2070 तक नेट ज़ीरो के इस महत्वाकांक्षी लक्ष्य को प्राप्त करने के लिए परमाणु ऊर्जा को अत्यंत महत्वपूर्ण माना जाता है। परमाणु ऊर्जा आधारभूत ऊर्जा प्रदान करने और ग्रिड संतुलन के मामले में महत्वपूर्ण योगदान दे सकती है। भारत की परमाणु महत्वाकांक्षाएँ दो अनिवार्यताओं से प्रेरित हैं: तेज़ी से बढ़ती ऊर्जा माँगों को पूरा करने की आवश्यकता और कम कार्बन उत्सर्जन वाले भविष्य के प्रति प्रतिबद्धता।

6. खतरे

सुरक्षा भारत की परमाणु ऊर्जा नीति का आधार है। भारत के परमाणु ऊर्जा संयंत्र कड़े सुरक्षा प्रोटोकॉल और अंतर्राष्ट्रीय निगरानी के साथ संचालित होते हैं। भारतीय परमाणु संयंत्रों में विकिरण का स्तर लगातार वैश्विक मानकों से काफ़ी नीचे रहता है, जो सुरक्षित और टिकाऊ परमाणु ऊर्जा के प्रति देश की प्रतिबद्धता को दर्शाता है।

परमाणु सुरक्षा में जनसंख्या और पर्यावरण दोनों को विकिरण के खतरों से बचाना और परमाणु सुविधाओं का सुरक्षित संचालन शामिल है। इसमें शामिल हैं- **(क)** परमाणु प्रतिष्ठानों की सुरक्षा, **(ख)** विकिरण जोखिम से सुरक्षा, **(ग)** परमाणु ईंधन के परिवहन और संचालन में सुरक्षा, **(घ)** परमाणु अपशिष्ट प्रबंधन में सुरक्षा, और **(ङ)** परमाणु संयंत्रों के बंद होने के दौरान सुरक्षा।

परमाणु अपशिष्ट प्रबंधन का तात्पर्य व्ययित ईंधन और रेडियोधर्मी अपशिष्ट के सुरक्षित संचालन, भंडारण, परिवहन और निपटान से है। यह एक महत्वपूर्ण पहलू है क्योंकि रेडियोधर्मी अपशिष्ट मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण के लिए गंभीर जोखिम पैदा करता है।

7. सरकारी नीति

केंद्रीय बजट 2025-26 भारत की दीर्घकालिक ऊर्जा परिवर्तन रणनीति के एक हिस्से के रूप में परमाणु ऊर्जा की ओर एक महत्वपूर्ण कदम की रूपरेखा प्रस्तुत करता है। सरकार ने **2047 तक 100 गीगावाट (GW) परमाणु ऊर्जा क्षमता** का एक महत्वाकांक्षी लक्ष्य निर्धारित किया है, जिससे परमाणु ऊर्जा भारत के ऊर्जा मिश्रण में एक प्रमुख स्तंभ के रूप में स्थापित होगी। यह विकास, ऊर्जा विश्वसनीयता सुनिश्चित करने और जीवाश्म ईंधन पर निर्भरता कम करने के विकासशील भारत के व्यापक उद्देश्यों के अनुरूप है। इस लक्ष्य को प्राप्त करने के लिए, स्वदेशी परमाणु प्रौद्योगिकी और सार्वजनिक-निजी सहयोग पर ज़ोर देते हुए, रणनीतिक नीतिगत हस्तक्षेप और बुनियादी ढाँचे में निवेश किया जा रहा है।

केंद्रीय बजट 2025-26 का एक प्रमुख आकर्षण **परमाणु ऊर्जा मिशन** का शुभारंभ है, जो लघु मॉड्यूलर रिएक्टरों (SMRs) के अनुसंधान एवं विकास (R&D) पर केंद्रित है। सरकार ने इस पहल के लिए ₹20,000 करोड़ आवंटित किए हैं, जिसका लक्ष्य 2033 तक कम से कम पाँच स्वदेशी रूप से डिज़ाइन किए गए और परिचालन योग्य SMR विकसित करना है।

8. निष्कर्ष

SMR डिज़ाइन का मुख्य उद्देश्य उत्सर्जन मुक्त बिजली उत्पन्न करना है। साथ ही, इनका उद्देश्य हाइड्रोजन जैसे अन्य स्वच्छ ऊर्जा उत्पादों की आपूर्ति करना भी है। SMR का उपयोग औद्योगिक तापन, विलवणीकरण (desalination) और परिवहन जैसे अनुप्रयोगों में किया जा सकता है। SMR डिज़ाइन का उद्देश्य परिवर्तनशील प्रकृति के नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों के साथ ग्रिड स्थिरता के लिए संचालन में नम्यता (flexibility) प्राप्त करना भी है। इन्हें छोटे विद्युत ग्रिड की आवश्यकता वाले देशों के लिए भी तैनात और डिज़ाइन किया जा रहा है। SMRs दूरस्थ ऑफ-ग्रिड स्थानों में भी उपयोगी हो सकते हैं। इनके संभावित परिनियोजन लाभ हैं जैसे आपातकालीन योजना क्षेत्र (emergency Planning Zone, EPZ) का आकार कम होना या कुछ ऑपरेटरों द्वारा कई मॉड्यूल की निगरानी करना। परमाणु ऊर्जा उत्पादन उद्योग में SMR तकनीक का उदय न केवल परमाणु क्षेत्र को मजबूत कर सकता है, बल्कि ऊर्जा परिवर्तन और लचीले बुनियादी ढाँचे में भी उल्लेखनीय योगदान दे सकता है।

******

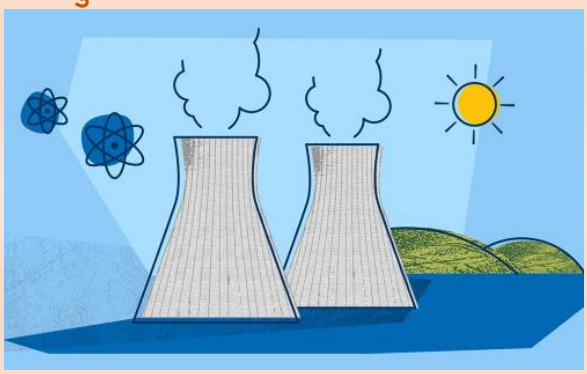
विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान

सुमन बाला, निदेशक, एचआरडी

विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान परमाणु ऊर्जा संयंत्रों के माध्यम से होता है। परमाणु ऊर्जा संयंत्रों में, परमाणु विखंडन (nuclear fission) की प्रक्रिया द्वारा ऊष्मा उत्पन्न की जाती है। यह ऊष्मा पानी को गर्म करके भाप बनाती है, जो फिर टर्बाइन (turbine) को घुमाती है। टर्बाइन से जुड़ा जनरेटर (generator) विद्युत ऊर्जा उत्पन्न करता है। इस प्रकार, परमाणु ऊर्जा का उपयोग विद्युत क्षेत्र में योगदान करने के लिए किया जाता है।

परमाणु ऊर्जा क्या है? परमाणु ऊर्जा का विज्ञान

परमाणु की व्याख्या



परमाणु ऊर्जा, प्रोटॉन और न्यूट्रॉन से बने परमाणुओं के केंद्र, नाभिक से निकलने वाली ऊर्जा का एक रूप है। इस ऊर्जा स्रोत का उत्पादन दो तरीकों से किया जा सकता है: विखंडन - जब परमाणुओं के नाभिक कई भागों में विभाजित हो जाते हैं - या संलयन - जब नाभिक आपस में जुड़ जाते हैं।

परमाणु विखंडन

परमाणु ऊर्जा संयंत्र कैसे काम करता है?

परमाणु ऊर्जा संयंत्रों के अंदर, परमाणु रिएक्टर और उनके उपकरण श्रृंखला अभिक्रियाओं को नियंत्रित और नियंत्रित करते हैं, जो आमतौर पर यूरेनियम-235 से संचालित होती हैं, जिससे विखंडन के दाबयुक्त जल रिएक्टर दुनिया में सबसे ज़्यादा इस्तेमाल किए जाते हैं।

यूरेनियम का खनन, संवर्धन और निपटान

यूरेनियम एक धातु है जो दुनिया भर की चट्टानों में पाई जाती है। यूरेनियम के कई प्राकृतिक रूप से पाए जाने वाले समस्थानिक हैं, जो एक तत्व के ऐसे रूप हैं जिनके द्रव्यमान और भौतिक गुण भिन्न होते हैं, लेकिन रासायनिक गुण समान होते हैं। यूरेनियम के दो मूल समस्थानिक हैं: यूरेनियम-238 और यूरेनियम-235। यूरेनियम-238 दुनिया के यूरेनियम का अधिकांश हिस्सा बनाता है, लेकिन यह विखंडन श्रृंखला अभिक्रिया उत्पन्न नहीं कर सकता, जबकि यूरेनियम-235 का उपयोग विखंडन द्वारा ऊर्जा उत्पन्न करने के लिए किया जा सकता

आज दुनिया भर में बिजली उत्पादन के लिए इस्तेमाल की जाने वाली परमाणु ऊर्जा परमाणु विखंडन के माध्यम से होती है, जबकि संलयन से बिजली बनाने की तकनीक अनुसंधान एवं विकास के चरण में है।

परमाणु विखंडन क्या है?

नाभिकीय विखंडन एक अभिक्रिया है जिसमें परमाणु का नाभिक दो या अधिक छोटे नाभिकों में विभाजित हो जाता है, तथा ऊर्जा मुक्त होती है।

उदाहरण के लिए, न्यूट्रॉन से टकराने पर, यूरेनियम-235 के एक परमाणु का नाभिक दो छोटे नाभिकों में विभाजित हो जाता है, उदाहरण के लिए एक बेरियम नाभिक और एक क्रिप्टन नाभिक, और दो या तीन न्यूट्रॉन, ये अतिरिक्त न्यूट्रॉन आसपास के यूरेनियम-235 परमाणुओं से टकराएँगे, जो भी विभाजित होकर गुणन प्रभाव में अतिरिक्त न्यूट्रॉन उत्पन्न करेंगे, इस प्रकार एक सेकंड के अंश में एक श्रृंखला अभिक्रिया उत्पन्न होगी।

हर बार जब प्रतिक्रिया होती है, तो ऊष्मा और विकिरण के रूप में ऊर्जा मुक्त होती है । इस ऊष्मा को परमाणु ऊर्जा संयंत्र में बिजली में परिवर्तित किया जा सकता है, ठीक उसी तरह जैसे कोयला, गैस और तेल जैसे जीवाश्म ईंधनों से प्राप्त ऊष्मा का उपयोग बिजली उत्पन्न करने के लिए किया जाता है।

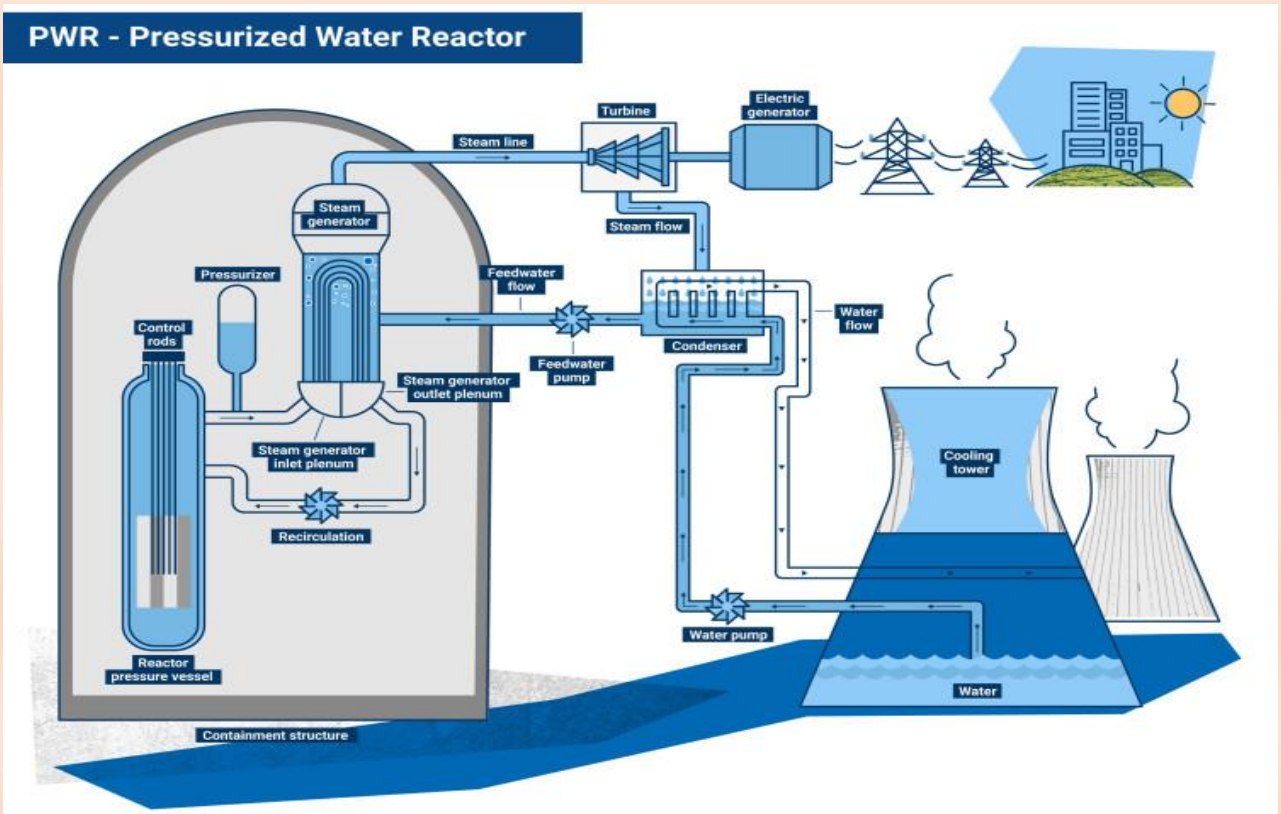
माध्यम से ऊष्मा उत्पन्न होती है। यह ऊष्मा रिएक्टर के शीतलन एजेंट, आमतौर पर पानी, को गर्म करके भाप उत्पन्न करती है। फिर इस भाप को घुमाने वाले टर्बाइनों में प्रवाहित किया जाता है, जिससे एक विद्युत जनरेटर सक्रिय होता है जिससे कम कार्बन वाली बिजली उत्पन्न होती है।

है, लेकिन यह दुनिया के यूरेनियम का 1 प्रतिशत से भी कम है।

प्राकृतिक यूरेनियम के विखंडन की संभावना बढ़ाने के लिए, यूरेनियम संवर्धन नामक प्रक्रिया के माध्यम से दिए गए नमूने में यूरेनियम-235 की मात्रा बढ़ाना आवश्यक है। एक बार यूरेनियम के संवर्धन के बाद, इसे तीन से पाँच वर्षों तक बिजली संयंत्रों में परमाणु ईंधन के रूप में प्रभावी ढंग से इस्तेमाल किया जा सकता है, जिसके बाद यह अभी भी रेडियोधर्मी होता है और लोगों और पर्यावरण की सुरक्षा के लिए कड़े दिशानिर्देशों का पालन करते हुए इसका निपटान किया जाना चाहिए। प्रयुक्त ईंधन, जिसे व्ययित ईंधन भी कहा जाता है, को विशेष परमाणु ऊर्जा संयंत्रों में नए ईंधन के रूप में उपयोग के लिए अन्य प्रकार के ईंधन में भी पुनर्चक्रित किया जा सकता है।

भारत के परमाणु क्षेत्र से जुड़े प्रमुख मुद्दे क्या हैं?

- ऊर्जा मिश्रण में सीमित हिस्सेदारी: दशकों के निवेश के बावजूद, परमाणु ऊर्जा भारत के कुल ऊर्जा उत्पादन में केवल 1.6% का योगदान देती है, जो इसकी क्षमता से बहुत कम है।
- कोयले पर निर्भरता और परमाणु क्षमता का धीमा विस्तार यह दर्शाता है कि इस क्षेत्र ने मापनीयता हासिल नहीं की है।
- वर्तमान परमाणु क्षमता 7.5 गीगावाट है, जो 2024 में मामूली वृद्धि के साथ 8.18 गीगावाट है, जो 2031-32 तक 22.48 गीगावाट के महत्वाकांक्षी लक्ष्य से काफी दूर है।
- भारत ने 2050 तक 25% बिजली परमाणु ऊर्जा से प्राप्त करने का लक्ष्य रखा है, जिसे देखते हुए यह सीमित प्रगति चिंताजनक है।



परमाणु ऊर्जा के लाभ

परमाणु ऊर्जा कई महत्वपूर्ण लाभ प्रदान करती है, जिनमें शामिल हैं:

- **कम कार्बन उत्सर्जन:** परमाणु ऊर्जा न्यूनतम ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन के साथ बिजली उत्पन्न करती है, जो जलवायु परिवर्तन शमन प्रयासों में योगदान देती है।
- **उच्च ऊर्जा घनत्व:** परमाणु ईंधन की थोड़ी मात्रा से बड़ी मात्रा में ऊर्जा उत्पन्न की जा सकती है, जिससे यह जीवाश्म ईंधन की तुलना में अत्यधिक कुशल हो जाता है।

- **विश्वसनीय और स्थिर:** परमाणु ऊर्जा संयंत्र निरंतर और स्थिर ऊर्जा आपूर्ति प्रदान करते हैं, क्योंकि वे ईंधन भरने की आवश्यकता पड़ने से पहले लंबी अवधि (आमतौर पर 18-24 महीने) तक लगातार काम कर सकते हैं।
- **ऊर्जा सुरक्षा:** परमाणु ऊर्जा आयातित जीवाश्म ईंधन पर निर्भरता को कम करती है, राष्ट्र की ऊर्जा सुरक्षा को बढ़ाती है तथा मूल्य में उतार-चढ़ाव और आपूर्ति में व्यवधान के प्रति संवेदनशीलता को कम करती है।
- **आधार-भार विद्युत:** सौर और पवन जैसे नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों के विपरीत, जो अस्थायी होते हैं, परमाणु ऊर्जा एक स्थिर और विश्वसनीय आधार-भार विद्युत आपूर्ति प्रदान करती है।
- **दीर्घकालिक संभावना:** परमाणु प्रौद्योगिकी में प्रगति, जैसे कि थोरियम रिएक्टर और संलयन ऊर्जा, दीर्घकालिक, टिकाऊ ऊर्जा उत्पादन की संभावना प्रदान करती है।

बिजली क्षेत्र

कुल उत्पादन (2023 में): 1958 TWh

उत्पादन मिश्रण: कोयला 1471 TWh (75%); जलविद्युत 149 TWh (8%); सौर 113 TWh (6%); पवन 82.1 TWh (4%); प्राकृतिक गैस 52.6 TWh (3%); परमाणु 48.2 TWh (2%); जैव ईंधन और अपशिष्ट 37.3 TWh (2%); तेल 4.2 TWh

आयात/निर्यात संतुलन: 0.2 TWh शुद्ध निर्यात

प्रति व्यक्ति खपत: लगभग 1400 kWh

ऊर्जा नीति

भारत की जनसंख्या 1.3 अरब से ज़्यादा है और अर्थव्यवस्था तेज़ी से बढ़ रही है। अगले दशक में भारत में ऊर्जा की माँग किसी भी अन्य देश की तुलना में ज़्यादा बढ़ने की उम्मीद है। भारत की प्राथमिकताएँ आर्थिक विकास और गरीबी उन्मूलन हैं। इसलिए, कम से कम सदी के मध्य तक कोयला ऊर्जा आपूर्ति का सबसे बड़ा स्रोत बना रहेगा। COP26 में भारत ने 2070 तक अपने उत्सर्जन को शून्य तक कम करने का संकल्प लिया - यह पहली बार है जब उसने ऐसी प्रतिबद्धता जताई है। देश की दीर्घकालिक ऊर्जा रणनीति में परमाणु ऊर्जा की महत्वपूर्ण भूमिका है। देश ने एक स्वदेशी परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम विकसित किया है, जो ईंधन चक्र पर आधारित है और जिसका उद्देश्य देश के विशाल थोरियम भंडार का उपयोग करना है।

मार्च 2018 में, सरकार ने कहा था कि वर्ष 2031 तक परमाणु क्षमता लगभग 22.5 गीगावाट (GWe) हो जाएगी, जो पहले के लक्ष्यों से काफी कम है इस संशोधित लक्ष्य की पुष्टि राज्य मंत्री जितेंद्र सिंह ने दिसंबर 2022 में और परमाणु ऊर्जा विभाग ने फरवरी 2025 में की थी।

दिसंबर 2023 में सरकार ने 2047 तक भारत को एक विकसित राष्ट्र बनाने की अपनी रणनीति, विकसित भारत की शुरुआत की । जुलाई 2024 में देश के 2024-25 के बजट में भारत लघु रिएक्टर* स्थापित करने का प्रावधान किया गया। फरवरी 2025 में वित्त मंत्री निर्मला सीतारमण ने विकसित भारत के लिए परमाणु ऊर्जा मिशन की घोषणा की और 2033 तक चालू होने वाले कम से कम पाँच भारतीय-डिज़ाइन वाले एसएमआर विकसित करने के लिए संघीय निधि प्रदान करने का वादा किया, साथ ही 2025-2026 के बजट में निजी क्षेत्र की भागीदारी को प्रोत्साहित करने के लिए भारतीय कानून में संशोधन का भी वादा किया। उसी बजट में उन्होंने कहा कि "2047 तक कम से कम 100 गीगावाट परमाणु ऊर्जा का विकास हमारे ऊर्जा परिवर्तन प्रयासों के लिए आवश्यक है।"

* भारत लघु रिएक्टर, जिनकी घोषणा पहली बार अगस्त 2023 में राज्य मंत्री जितेंद्र सिंह द्वारा की गई थी, के बारे में यह अपेक्षा की जाती है कि वे 1980 के दशक से भारत द्वारा निर्मित मौजूदा 220 मेगावाट पीएचडब्ल्यूआर प्रौद्योगिकी पर आधारित होंगे।

फरवरी 2025 में ही भारत और फ्रांस ने उन्नत मॉड्यूलर और लघु मॉड्यूलर रिएक्टरों पर साझेदारी के लिए एक आशय पत्र पर हस्ताक्षर किए। उसी महीने भारत और अमेरिका ने भारत में अमेरिकी डिज़ाइन वाले रिएक्टर बनाने की योजना को आगे बढ़ाकर अमेरिका-भारत 123 असैन्य परमाणु

समझौते को पूरी तरह से साकार करने पर सहमति व्यक्त की।

मई 2025 में देश के ऊर्जा मंत्री ने देश की परमाणु ऊर्जा क्षमता को बढ़ाने के लिए आवश्यक कदम निर्धारित किए:

- निजी और राज्य क्षेत्रों की व्यापक भागीदारी को सक्षम करने के लिए परमाणु ऊर्जा अधिनियम, 1962 और परमाणु क्षति के लिए नागरिक दायित्व अधिनियम, 2010 में संशोधन करना।
- परमाणु ऊर्जा की सुरक्षा और लाभों के बारे में सार्वजनिक धारणा को मजबूत करना और जागरूकता बढ़ाना
- ब्राउनफील्ड विस्तार और सेवानिवृत्त ताप विद्युत स्थलों के पुनरुद्देश्यीकरण के माध्यम से तेजी से भूमि अधिग्रहण की सुविधा प्रदान करना।
- परियोजना समयसीमा को कम करने के लिए विनियामक अनुमोदन प्रक्रियाओं को सुव्यवस्थित करना
- प्रतिस्पर्धी परमाणु टैरिफ सुनिश्चित करने के लिए कर रियायतें, हरित ऊर्जा वर्गीकरण और दीर्घकालिक वित्तपोषण लागू करना।
- प्रतिस्पर्धी बोली के माध्यम से प्रौद्योगिकी विकल्पों में विविधता लाना और मेक इन इंडिया के तहत स्वदेशी विनिर्माण को बढ़ावा देना।
- विविध यूरेनियम ईंधन स्रोतों को सुरक्षित करना और विशिष्ट परमाणु उपकरणों के लिए विक्रेता आधार का विस्तार करना।
- परमाणु शिक्षा और प्रशिक्षण अवसंरचना को मजबूत करके कुशल जनशक्ति क्षमता का निर्माण।

➢ वर्ष 2047 तक 100,000 मेगावाट परमाणु क्षमता के महत्त्वाकांक्षी लक्ष्य के साथ, परमाणु ऊर्जा देश के स्वच्छ ऊर्जा संक्रमण में आधारशिला बनने के लिये तैयार है।

➢ उदाहरण के लिये, सत्र 2031-32 तक भारत की परमाणु ऊर्जा क्षमता 8,180 मेगावाट से बढ़कर 22,480 मेगावाट हो जाएगी।

○ **ऊर्जा सुरक्षा और स्थिर आपूर्ति:** परमाणु ऊर्जा स्थिर, परमाणु ऊर्जा आपूर्ति प्रदान करने के लिये ऊर्जा सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिये नवीनतम नियम। ऊर्जा सुरक्षा और स्थिर आपूर्ति के लिये उत्प्रेरक: परमाणु ऊर्जा स्थिर, निर्बाध बिजली आपूर्ति प्रदान करके ऊर्जा सुरक्षा सुनिश्चित करने के लिये एक अभिन्न अंग है।

➢ पवन और सौर जैसे नवीकरणीय स्रोतों के विपरीत, जो ऊर्जा के अस्थिर नवीकरणीय स्रोत हैं, परमाणु संयंत्र 24/7 संचालित हो सकते हैं, जिससे एक सुसंगत ऊर्जा उत्पादन सुनिश्चित होता है।

➢ चूँकि भारत की बिजली की मांग सालाना 6-8% की दर से बढ़ रही है, इसलिये परमाणु ऊर्जा ग्रिड को स्थिर करने में मदद करती है। सरकार सत्र 2031-32 तक 18 रिएक्टर जोड़ने की योजना बना रही है, जो बढ़ती मांग के बीच सतत् बिजली आपूर्ति बनाए रखने में परमाणु ऊर्जा की महत्त्वपूर्ण भूमिका को रेखांकित करता है।

○ **औद्योगिक डीकार्बोनाइज़ेशन के माध्यम से आर्थिक विकास:** परमाणु ऊर्जा इस्पात, एल्यूमीनियम और सीमेंट जैसे ऊर्जा-गहन उद्योगों में डीकार्बोनाइज़ेशन को सक्षम करके आर्थिक विकास में महत्त्वपूर्ण योगदान देती है।

➢ भारत स्मॉल रिक्टर (BSR) जैसी प्रौद्योगिकियों के माध्यम से विश्वसनीय कैप्टिव पावर प्रदान करके, परमाणु ऊर्जा कार्बन कटौती लक्ष्यों को पूरा करने में औद्योगिक क्षेत्रों का समर्थन करती है।

➢ भारत स्मॉल रिक्टर (BSR) परियोजनाओं में निजी क्षेत्र की भागीदारी इसे और सुदृढ़ करती है, सरकार ने वर्ष 2033 तक ऊर्जा बुनियादी अवसंरचना में विविधता लाने और आधुनिकीकरण के लिये स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टरों (SMR) हेतु 20,000 करोड़ रुपए आवंटित किये हैं।

○ **तकनीकी नवाचार और अनुसंधान एवं विकास को बढ़ावा देना:** परमाणु ऊर्जा तकनीकी नवाचार और अनुसंधान को बढ़ावा देती है, विशेष रूप से फास्ट ब्रीडर रिएक्टरों (FBR) में प्रगति के माध्यम से।

➢ ये प्रौद्योगिकियाँ न केवल परमाणु दक्षता में सुधार करती हैं, बल्कि यूरेनियम पर निर्भरता

कम करने की भारत की दीर्घकालिक ऊर्जा रणनीति के अनुरूप भी हैं।

➢ प्रोटोटाइप फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (PFBR), थोरियम आधारित परमाणु ऊर्जा विकसित करने की दिशा में भारत की प्रगति का उदाहरण है।

○ **सामरिक अंतर्राष्ट्रीय साझेदारियाँ और ऊर्जा कूटनीति:** परमाणु ऊर्जा अंतर्राष्ट्रीय सहयोग को बढ़ावा देकर भारत की ऊर्जा कूटनीति को बढ़ाती है।

➢ वर्ष 2005 के अमेरिका-भारत असैन्य परमाणु समझौते ने वैश्विक यूरेनियम बाज़ारों तक अभिगम को सक्षम किया है, जिससे भारत को अपने बढ़ते परमाणु रणनीति के लिये महत्त्वपूर्ण यूरेनियम आपूर्ति हासिल करने में मदद मिली।

➢ भारत और फ्राँस ने नेक्स्ट जनरेशन के परमाणु रिएक्टरों के विकास पर सहयोग करने पर सहमति व्यक्त की है, जिसमें उन्नत मॉड्यूलर रिएक्टर और स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर शामिल हैं।

○ **रोज़गार सृजन और कौशल विकास:** परमाणु ऊर्जा रोज़गार सृजन और कौशल विकास में महत्त्वपूर्ण भूमिका निभाती है, जो भारत की आर्थिक वृद्धि के लिये महत्त्वपूर्ण हैं।

➢ परमाणु ऊर्जा संयंत्रों के विस्तार से निर्माण, संचालन, प्रबंधन और प्रौद्योगिकी विकास क्षेत्र में रोज़गार के अवसर उत्पन्न होते हैं।

******

परमाणु ऊर्जा भारत के नेट जीरो लक्ष्य के लिए महत्वपूर्ण है और बड़े विस्तार की योजना है

करन सरीन, उप निदेशक, वितरण नीति एवं निगरानी (डी.पी. एवं एम.) प्रभाग

बिजली क्षेत्र वैश्विक ऊर्जा-सम्बंधित उत्सर्जन में 40 प्रतिशत से अधिक का योगदान देता है, इसलिए परमाणु ऊर्जा, एक गैर-जीवाश्म और स्थिर ऊर्जा स्रोत होने के नाते, परमाणु ऊर्जा शुद्ध शून्य कार्बन उत्सर्जन लक्ष्य प्राप्त करने के लिए एक महत्वपूर्ण स्तंभ हैं। भारत में नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों का विस्तार हो रहा है, लेकिन वे अकेले बेस-लोड डिमांड को पूरा नहीं कर सकते हैं, जिससे परमाणु ऊर्जा भारत की ऊर्जा रणनीति का एक प्रमुख घटक बन गई है। भारत वर्तमान में सात स्थानों पर 25 परमाणु संयंत्र संचालित कर रहा है, जिनकी कुल स्थापित क्षमता 8780 मेगावाट (आरएपीएस 1 - 100 मेगावाट को छोड़कर) है, जो देश के बिजली उत्पादन में लगभग 3 प्रतिशत का योगदान देता है। 6,600 मेगावाट क्षमता वाले आठ रिएक्टर निर्माणाधीन हैं, और 7,000 मेगावाट क्षमता वाले अन्य दस रिएक्टर परियोजना-पूर्व चरणों में हैं। वर्ष 2024-25 में, देश में लगभग 1830 बिलियन यूनिट बिजली उत्पादन के मुकाबले, परमाणु ऊर्जा का योगदान लगभग 56.7 बिलियन यूनिट (~3.1 प्रतिशत) रहा। बिजली उत्पादन के अलावा, परमाणु ऊर्जा गैर-विद्युत अनुप्रयोगों जैसे हाइड्रोजन उत्पादन, विलवणीकरण, प्रक्रिया भाप और अंतरिक्ष के गर्म होने के उपायों में भी सहायक हो सकती है, जिससे भारत के व्यापक ऊर्जा बदलाव लक्ष्यों को प्राप्त करने में सहायता मिल सकती है।

केंद्रीय बजट 2025-26 में घोषित "परमाणु मिशन" परमाणु ऊर्जा को भारत में ऊर्जा के एक प्रमुख स्रोत के रूप में उभरने में सक्षम बनाएगा। मिशन का उद्देश्य जीवाश्म ईंधन ऊर्जा स्रोतों के लिए विश्वसनीय ऊर्जा विकल्प प्रदान करना है, जिसका उद्देश्य सेवानिवृत्त थर्मल पावर-प्लांट को बदलना, ऊर्जा गहन उद्योग के लिए कैप्टिव प्लांट स्थापित करना और ऊर्जा क्षेत्र को डीकार्बोनाइज करने के उद्देश्य से दूरस्थ और साथ ही ऑफ-ग्रिड स्थान के लिए ऊर्जा प्रदान करना है। केंद्रीय बजट 2025-26 ने छोटे मॉड्यूलर रिएक्टरों (क्षमता 16 मेगावाट से 300 मेगावाट) में आर एंड डी के लिए 20,000 करोड़ रूपये आवंटित किए हैं, जिसका लक्ष्य 2033 तक कम से कम पांच स्वदेशी रूप से डिज़ाइन किए गए, चालू एसएमआर स्थापित करना है। बीएआरसी द्वारा प्रदर्शन हेतु तीन प्रकार के एसएमआर का स्वदेशी रूप से डिज़ाइन और विकास किया जा रहा है। ये रिएक्टर हैं:

1. 200 मेगावाट भारत लघु मॉड्यूलर रिएक्टर
2. 55 मेगावाट लघु मॉड्यूलर रिएक्टर
3. हाइड्रोजन उत्पादन के लिए उपयुक्त थर्मोकेमिकल प्रक्रिया के साथ युग्मन द्वारा हाइड्रोजन उत्पादन के लिए 5 मेगावाट उच्च तापमान गैस कूल्ड रिएक्टर

इन प्रदर्शन रिएक्टरों के निर्माण हेतु सैद्धांतिक स्वीकृति प्राप्त हो चुकी है। परियोजनाओं की प्रशासनिक स्वीकृति प्राप्त होने के बाद, इन प्रदर्शन रिएक्टरों का निर्माण 60 से 72 महीनों में पूरा होने की संभावना है। एनपीसीआईएल के सहयोग से परमाणु ऊर्जा विभाग के स्थलों पर बीएसएमआर और एसएमआर की प्रमुख इकाइयाँ स्थापित करने की योजना है। इन संयंत्रों को कैप्टिव पावर प्लांट के रूप में तैनाती, बंद हो रहे जीवाश्म ईंधन आधारित संयंत्रों के पुनरुद्देश्यीकरण तथा हाइड्रोजन उत्पादन के लिए डिजाइन और विकसित किया गया है, ताकि औद्योगिक और परिवहन क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा के प्रवेश को बढ़ाकर डीकार्बोनाइजेशन के मुख्य उद्देश्य के साथ परिवहन क्षेत्र को समर्थन दिया जा सके। यह 2047 तक 100 गीगावॉट परमाणु ऊर्जा क्षमता के भारत के लक्ष्य के अनुरूप है, जो कार्बन उत्सर्जन को कम करने और ऊर्जा सस्टेनिबिलिटी सुनिश्चित करने की दिशा में एक बड़ा कदम है। वर्तमान 8780 मेगावाट (आरएपीएस 1-100 मेगावाट को छोड़कर) क्षमता को कार्यान्वयनाधीन परियोजनाओं के क्रमिक रूप से पूरा होने पर 22380 मेगावाट तक बढ़ाने की योजना है, जिसमें गुजरात, राजस्थान, तमिलनाडु, हरियाणा, कर्नाटक और मध्य प्रदेश में दस रिएक्टर निर्माणाधीन हैं। इसके अतिरिक्त, दस और रिएक्टरों की योजना प्रगति पर है, जिसमें कोव्वाडा, आंध्र प्रदेश में संयुक्त राज्य अमेरिका के सहयोग से एक प्रमुख 6 x 1208 मेगावाट का परमाणु ऊर्जा संयंत्र शामिल है। विकसित भारत के लिए परमाणु ऊर्जा मिशन, परमाणु ऊर्जा विकास को गति देने और 2047 तक भारत को उन्नत परमाणु प्रौद्योगिकी में वैश्विक लीडर के रूप में स्थापित करने के लिए टिकाऊ, स्केलेबल और सुरक्षित ऊर्जा स्रोत के रूप में परमाणु ऊर्जा का विस्तार करके, ऊर्जा सुरक्षा को मजबूत करना और राष्ट्र के दीर्घकालिक आर्थिक और पर्यावरणीय लक्ष्यों को पूरा करना है।

भारत के प्रचुर थोरियम भंडार है, जो वैश्विक कुल का 21% है। इस संसाधन का इस्तेमाल करने के लिए "भाविनी" जैसी स्वदेशी परियोजनाएं विकसित की जा रही हैं, जिससे आयातित यूरेनियम और अन्य सामग्रियों पर निर्भरता कम हो रही है। भारत अपने सीमित यूरेनियम संसाधनों के सबसे अच्छे उपयोग और दीर्घकालिक ऊर्जा सुरक्षा के लिए विशाल थोरियम संसाधनों का दोहन करने के लिए तीन-चरणीय परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम चला रहा है, जिसमें लगभग बंद परमाणु ईंधन चक्र का पालन किया जाता है, जिसमें रिएक्टरों से खर्च ईंधन को अपशिष्ट के बजाय संसाधन सामग्री के रूप में माना जाता है। भारत ने दबावयुक्त भारी जल रिएक्टरों (पीएचडब्ल्यूआर) के बैकएंड ईंधन चक्र में विशेषज्ञता विकसित की है।

परमाणु खनिज अन्वेषण एवं अनुसंधान निदेशालय (एएमडी एंड ईआर) का कार्यक्रम परमाणु ईंधन चक्र के अग्रिम छोर से जुड़ा हुआ है, जिसमें भारत के परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम की ज़रूरतों को पूरा करने के लिए परमाणु खनिज संसाधनों की पहचान, मूल्यांकन और वृद्धि के लिए अन्वेषण किया जाता है। एएमडी एंड ईआर विभाग ने आंध्रप्रदेश, तेलंगाना, झारखंड, मेघालय, राजस्थान, कर्नाटक, छत्तीसगढ़, उत्तर प्रदेश, उत्तराखंड, हिमाचल प्रदेश और महाराष्ट्र में स्थित 47 यूरेनियम भंडारों में 4,33,800 टन यूरेनियम ऑक्साइड (U3O8) का इन-सीटू संसाधन स्थापित किया है । हाल के वर्षों में, विभाग ने झारखंड के पूर्वी सिंहभूम जिले के जादुगुड़ा उत्तर-बगलसाई मेचुआ भंडार में 26,437 टन यू-ऑक्साइड का इन-सीटू संसाधन स्थापित किया है; जो जादुगुड़ा यूरेनियम भंडार का उत्तर-पश्चिमी विस्तार है।

घरेलू सुरक्षा उपायों के अंतर्गत आने वाले रिएक्टरों के लिए यूरेनियम ईंधन की आवश्यकता को

यूरेनियम कॉरपोरेशन ऑफ इंडिया लिमिटेड (यूसीआईएल) द्वारा पर्याप्त रूप से पूरा किया जाता है, जो परमाणु ऊर्जा विभाग (डीएई) के तहत एक सार्वजनिक क्षेत्र का उद्यम है। समय-समय पर, यूसीआईएल से निरंतर आपूर्ति बनाए रखने के लिए देश के विभिन्न हिस्सों में कुछ मौजूदा इकाइयों के क्षमता विस्तार के साथ-साथ नई परियोजनाओं की स्थापना सहित परियोजनाओं की योजना बनाई जाती है।

हैदराबाद में अपनी प्रारंभिक स्थापना के साथ परमाणु ईंधन परिसर (एनएफसी) ने हैदराबाद में ईंधन और संरचनात्मक निर्माण के लिए अपनी उत्पादन सुविधाओं को और बढ़ाया है और जिरकोनियम स्पंज उत्पादन के लिए "जिरकोनियम कॉम्प्लेक्स", पझायाकायल और ईंधन उत्पादन के लिए "एनएफसी-कोटा" में ग्रीनफील्ड परियोजनाओं के माध्यम से नई सुविधाएं स्थापित की हैं। जिरकोनियम कॉम्प्लेक्स, पझायाकायल में परियोजना 2009 में पूरी हो गई और तब से चालू है।

एनएफसी-कोटा परियोजना मार्च 2026 तक पूरी होनी है और वर्तमान में इसने 90 प्रतिशत से अधिक कार्य की स्थिति हासिल कर ली है तथा प्रमुख उपकरणों की कमीशनिंग भी उन्नत चरण में है।

वर्तमान में, पीएचडब्ल्यूआर से खर्च किए गए ईंधन को अगले चरण के परमाणु ऊर्जा संयंत्रों के लिए ईंधन के रूप में उपयोग करने के लिए विखंडनीय सामग्री निकालने के लिए पुन: संसाधित किया जाता है। हालाँकि, पुनर्संसाधन के दौरान मामूली एक्टिनाइड्स और विखंडन उत्पादों वाले रेडियोधर्मी तरल अपशिष्ट की एक छोटी मात्रा उत्पन्न होती है। खर्च किए गए ईंधन के पुनर्संसाधन से उत्पन्न उच्च स्तर के रेडियोधर्मी तरल अपशिष्ट को विट्रीफिकेशन नामक प्रक्रिया के अधीन किया जाता है, जिसमें इसे कांच में बदल दिया जाता है। इस विट्रीफाइड ठोस उत्पाद को ठोस भंडारण निगरानी सुविधा में प्राकृतिक शीतलन के अधीन किया जाता है। यह नीति अंतर्राष्ट्रीय परमाणु ऊर्जा एजेंसी के दिशानिर्देशों का पालन करते हुए अंतर्राष्ट्रीय कार्य प्रणालियों के अनुरूप है।

उच्च-स्तरीय रेडियोधर्मी अपशिष्ट के कुशल प्रबंधन के लिए, बीएआरसी ने विट्रिफाइड ठोस में अपशिष्ट की विशिष्ट लोडिंग में वृद्धि की सुविधा के लिए लंबे समय तक रहने वाले एक्टिनाइड्स को अलग करने के लिए विभाजन तकनीक विकसित और प्रदर्शित की है और इस तरह विट्रिफाइड अपशिष्ट की मात्रा में पर्याप्त कमी की सुविधा प्रदान की है। इसके अलावा, यह विभाजन तकनीक विभिन्न सामाजिक अनुप्रयोगों के लिए तरल अपशिष्टों से सीज़ियम-137, स्ट्रोंटियम-90, रूथेनियम-106 जैसे उपयोगी रेडियो-आइसोटोप की वसूली में भी मदद करती है।

परमाणु ऊर्जा के सभी पहलुओं, जैसे स्थान निर्धारण, डिज़ाइन, निर्माण, कमीशनिंग और संचालन, में सुरक्षा को सर्वोच्च प्राथमिकता दी जाती है। परमाणु ऊर्जा संयंत्रों को गहन सुरक्षा, अतिरेकता, विविधता और विफलता-सुरक्षित डिजाइन विशेषताओं के सर्वोपरि सुरक्षा सिद्धांतों के आधार पर डिजाइन किया जाता है; इस प्रकार, रेडियोधर्मिता के स्रोत और पर्यावरण के बीच कई अवरोधों को सुनिश्चित किया जाता है। ये ऑपरेशन उच्च योग्यता प्राप्त, प्रशिक्षित और लाइसेंस प्राप्त कर्मियों द्वारा सुव्यवस्थित प्रक्रियाओं के माध्यम से किए जाते हैं। एक मजबूत और स्वतंत्र नियामक तंत्र मौजूद है और परमाणु ऊर्जा नियामक बोर्ड (एईआरबी) द्वारा परमाणु ऊर्जा संयंत्रों की सुरक्षा की निरंतर निगरानी और समीक्षा की जाती है।

परमाणु ऊर्जा को बढ़ाने के लिए कुछ आवश्यक प्रमुख चुनौतियों है:

- निजी और राज्य क्षेत्रों की व्यापक भागीदारी को सक्षम करने के लिए परमाणु ऊर्जा अधिनियम, 1962 और परमाणु क्षति के लिए नागरिक दायित्व अधिनियम, 2010 में संशोधन करना।
- परमाणु ऊर्जा की सुरक्षा और लाभों के बारे में सार्वजनिक धारणा को मजबूत करना और जागरूकता बढ़ाना।

- ब्राउनफील्ड विस्तार और सेवानिवृत्त ताप विद्युत स्थलों के पुनरुद्देश्यीकरण के माध्यम से तेजी से भूमि अधिग्रहण की सुविधा प्रदान करना।
- परियोजना समयसीमा को कम करने के लिए विनियामक अनुमोदन प्रक्रियाओं को सुव्यवस्थित करना।
- प्रतिस्पर्धी परमाणु टैरिफ सुनिश्चित करने के लिए कर रियायतें, हरित ऊर्जा वर्गीकरण और दीर्घकालिक वित्तपोषण लागू करना।
- प्रतिस्पर्धी बोली के माध्यम से प्रौद्योगिकी विकल्पों में विविधता लाना और मेक इन इंडिया के तहत स्वदेशी विनिर्माण को बढ़ावा देना।
- विविध यूरेनियम ईंधन स्रोतों को सुरक्षित करना और विशिष्ट परमाणु उपकरणों के लिए विक्रेता आधार का विस्तार करना।
- परमाणु शिक्षा और प्रशिक्षण बुनियादी ढांचे को मजबूत करके कुशल जनशक्ति क्षमता का निर्माण करना।

******

भारत की परमाणु ऊर्जा आवश्यकता: ऊर्जा प्रणाली के डीकार्बनाइज़ेशन में इसकी भूमिका

मनोज कुमार, उप-निदेशक, स्वच्छ ऊर्जा एवं ऊर्जा परिवर्तन, योजना स्कन्ध, के.वि. प्रा.

1.0 प्रस्तावना:

आज जब विश्व जलवायु परिवर्तन की गंभीर चुनौतियों से जूझ रहा है और स्वच्छ ऊर्जा की तरफ तेज़ी से आगे बढ़ रहा है, भारत के लिए परमाणु ऊर्जा एक अत्यंत महत्वपूर्ण विकल्प के रूप में उभरी है। **विकसित भारत 2047** के दृष्टिकोण के साथ और **2070 तक नेट ज़ीरो उत्सर्जन** की प्रतिबद्धता के मद्देनजर, भारत अपनी ऊर्जा सुरक्षा को सुनिश्चित करते हुए पर्यावरण संरक्षण की दिशा में आगे बढ़ रहा है।

भारत की कुल ऊर्जा मांग तेज़ गति से बढ़ रही है। पारंपरिक ऊर्जा स्रोत (कोयला, गैस, तेल) अब दीर्घकालीन समाधान नहीं हैं – इनसे न तो नेट जीरो टारगेट पूरा किया जा सकता है, और न ही ऊर्जा आत्मनिर्भरता। नवीकरणीय ऊर्जा की हिस्सेदारी बढ़ रही है, लेकिन उसकी अस्थिरता (intermittency) एक प्रमुख चुनौती है। ऐसे में परमाणु ऊर्जा एक विश्वसनीय, हमेशा उपलब्ध और शुद्ध ऊर्जा विकल्प के रूप में उभर रही है

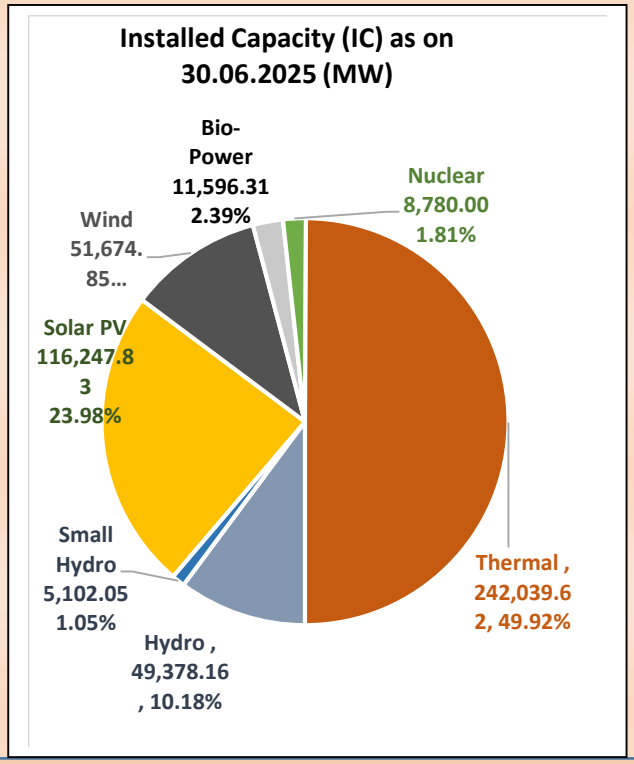
केंद्रीय बजट 2025-26 में **परमाणु ऊर्जा मिशन फॉर विकसित भारत** की घोषणा के साथ सरकार ने स्पष्ट कर दिया है कि परमाणु ऊर्जा देश के भविष्य की ऊर्जा रणनीति का एक केंद्रीय स्तंभ होगी। **2047 तक 100 GW** परमाणु ऊर्जा क्षमता का महत्वाकांक्षी लक्ष्य, वर्तमान **8,780 MW** से बारह गुना से भी अधिक वृद्धि का संकेत देता है।

भारत सरकार के आधिकारिक घोषणाओं और केंद्रीय बजट की घोषणाओं के अनुसार, इस क्षेत्र में नवाचार और स्वदेशी तकनीक के विकास पर विशेष जोर दिया जा रहा है, जिसमें **स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMR)** की भूमिका विशेष रूप से महत्वपूर्ण है।

2.0 परमाणु ऊर्जा की योजना और रणनीति:

2.1 वर्तमान स्थिति और भविष्य के लक्ष्य

भारत में वर्तमान में **25 परमाणु रिएक्टर** सात विभिन्न स्थानों पर कार्यरत हैं, जिनकी स्थापित



क्षमता **8,780 MW** (कुल स्थापित क्षमता का **1.8%**) है। यह देश के कुल विद्युत उत्पादन में लगभग **3%** का योगदान देती है। सरकार के अनुसार, भारत की परमाणु ऊर्जा क्षमता पिछले दशक में लगभग दोगुनी हो गई है - **2014 में 4,780 MW से बढ़कर 2025 में 8,780 MW**। सरकार की योजना के अनुसार यह क्षमता **2031-32 तक 22,480 MW** तक पहुंचने का अनुमान है, जो वर्तमान क्षमता की तुलना में तीन गुना वृद्धि दर्शाती है। दीर्घकालिक दृष्टिकोण से देखें तो **2047 तक 100,000 MW (100 GW)** का लक्ष्य निर्धारित किया गया है।

2.2 तीन-चरणीय परमाणु कार्यक्रम

भारत का परमाणु कार्यक्रम प्रसिद्ध वैज्ञानिक डॉ. होमी भाभा द्वारा 1950 के दशक में निर्धारित तीन-चरणीय योजना पर आधारित है:

प्रथम चरण: प्राकृतिक यूरेनियम ईंधन का उपयोग करके प्रेशराइज़्ड हेवी वाटर रिएक्टर (PHWR) से विद्युत उत्पादन और उप-उत्पाद के रूप में प्लूटोनियम-239 का उत्पादन।

द्वितीय चरण: प्लूटोनियम-239 का उपयोग करके फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (FBR) में ईंधन उत्पादन, जो यूरेनियम-233 का निर्माण करता है।

तृतीय चरण: यूरेनियम-233 और थोरियम के मिश्रण का उपयोग करके एडवांस्ड हेवी वाटर रिएक्टर (AHWR) में सतत परमाणु ईंधन चक्र की प्राप्ति।

यह रणनीति भारत के सीमित यूरेनियम भंडार (विश्व का केवल 1-2%) बनाम विशाल थोरियम भंडार (विश्व का लगभग 25%) को ध्यान में रखकर बनाई गई थी।

2.3 केंद्रीय बजट 2025-26 की घोषणाएं

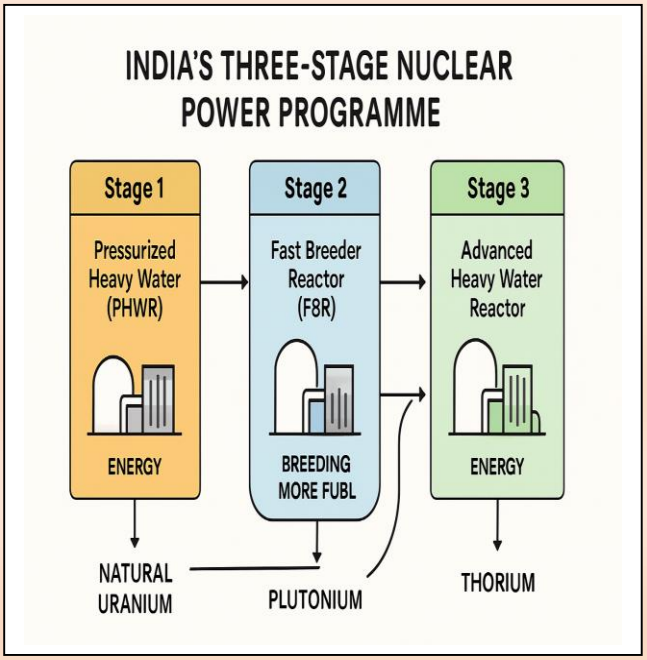
केंद्रीय वित्त मंत्री द्वारा बजट में की गई घोषणाओं के अनुसार:

- **₹20,000 करोड़** का आवंटन **स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMR)** के अनुसंधान और विकास के लिए
- **2033 तक कम से कम पांच स्वदेशी SMR** को परिचालित करने का लक्ष्य
- **परमाणु ऊर्जा अधिनियम, 1962** में संशोधन की घोषणा
- **परमाणु दुर्घटनाओं के लिए नागरिक दायित्व अधिनियम, 2010** में संशोधन
- निजी क्षेत्र की भागीदारी को प्रोत्साहित करने के लिए नीतिगत सुधार

3.0 ऊर्जा प्रणाली के डीकार्बनाइज़ेशन में संभावित भूमिका

3.1 नेट ज़ीरो 2070 की दिशा में

भारत ने **COP26 ग्लासगो सम्मेलन** में **2070 तक नेट ज़ीरो उत्सर्जन** की प्रतिबद्धता व्यक्त



की है। इस लक्ष्य की प्राप्ति में परमाणु ऊर्जा की भूमिका अत्यंत महत्वपूर्ण है क्योंकि:

- परमाणु ऊर्जा **24x7 स्थिर आधार भार (बेसलोड) विद्युत** प्रदान करती है
- इसमें **न्यूनतम कार्बन उत्सर्जन** होता है
- यह **नवीकरणीय ऊर्जा** (सौर और पवन) की अस्थिरता को संतुलित करती है
- जीवाश्म ईंधन पर निर्भरता को कम करती है

3.2 ऊर्जा मिश्रण में भूमिका

भारत की वर्तमान ऊर्जा मिश्रण में कोयला आधारित ऊर्जा का हिस्सा **75%** है। **2030 तक 50% गैर-जीवाश्म ईंधन आधारित ऊर्जा**, **500 GW नवीकरणीय ऊर्जा** और राष्ट्रीय स्तर पर निर्धारित योगदान (NDC) के लक्ष्य के लिए

परमाणु ऊर्जा एक स्थिर और विश्वसनीय विकल्प के रूप में कार्य करेगी।

अध्ययनों के अनुसार, भारत की बढ़ती ऊर्जा आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए **2047 तक विद्युत की मांग 4-5 गुना** बढ़ने की संभावना है। ऐसी स्थिति में केवल नवीकरणीय ऊर्जा से बेसलोड की आवश्यकताओं को पूरा करना चुनौतीपूर्ण है।

3.3 औद्योगिक डीकार्बनाइज़ेशन

भारत स्मॉल रिएक्टर (Bharat SMR) और SMR तकनीक का उपयोग करके:

- **स्टील, एल्युमिनियम, सीमेंट** जैसे ऊर्जा-गहन उद्योगों के लिए कैप्टिव पावर प्लांट
- **सेवानिवृत्त कोयला आधारित थर्मल पावर प्लांट** को परमाणु ऊर्जा प्लांट में बदलना
- **दूरदराज के क्षेत्रों** में स्वच्छ ऊर्जा की आपूर्ति

3.4 स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMR) की विशेष भूमिका

3.4.1 SMR की परिभाषा और विशेषताएं

स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMR) आधुनिक परमाणु रिएक्टर हैं जिनकी विद्युत उत्पादन क्षमता आमतौर पर **300 MWe तक** होती है। इनकी मुख्य विशेषताएं हैं:

छोटा (Small): पारंपरिक परमाणु रिएक्टर के आकार का एक भाग

मॉड्यूलर (Modular): फैक्ट्री में निर्मित करके साइट पर असेंबल करना संभव

रिएक्टर (Reactor): परमाणु विखंडन से ऊर्जा उत्पादन

3.4.2 भारत में SMR विकास कार्यक्रम

भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र (BARC) तीन प्रकार के स्वदेशी SMR विकसित कर रहा है:

1. **भारत स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (BSMR-200):** 200 MWe क्षमता वाला प्रेशराइज़्ड हेवी वाटर रिएक्टर
2. **55 MWe SMR:** मध्यम क्षमता का रिएक्टर दूरदराज के क्षेत्रों के लिए
3. **5 MWth हाई टेम्परेचर गैस कूल्ड रिएक्टर:** हाइड्रोजन उत्पादन के लिए विशेष रूप से डिज़ाइन

3.4.3 SMR के लाभ

बढ़ी हुई सुरक्षा: कम ऑपरेटिंग पार्ट्स और उन्नत सुरक्षा सुविधाएं

लागत-प्रभावी: फैक्ट्री में निर्माण से समय और लागत में कमी

लचीलापन: विभिन्न स्थानों पर स्थापना की सुविधा

पर्यावरण अनुकूल: छोटे इमरजेंसी प्लानिंग जोन की आवश्यकता

3.4.4 SMR की अनुप्रयोग

- **कैप्टिव पावर प्लांट** के रूप में औद्योगिक उपयोग
- **सेवानिवृत्त कोयला संयंत्रों** का पुनर्प्रयोजन
- **दूरदराज और ऑफ-ग्रिड** क्षेत्रों में विद्युत आपूर्ति
- **हाइड्रोजन उत्पादन** के माध्यम से परिवहन क्षेत्र का डीकार्बनाइज़ेशन

4.0 नीतिगत ढांचा और सुधार

4.1 विधायी संशोधन

सरकार निम्नलिखित कानूनों में संशोधन की योजना बना रही है:

परमाणु ऊर्जा अधिनियम, 1962: निजी क्षेत्र की भागीदारी को सक्षम बनाने के लिए

नागरिक दायित्व अधिनियम, 2010: विदेशी निवेश और तकनीक प्रदाताओं की चिंताओं को संबोधित करने के लिए

विद्युत अधिनियम: परमाणु ऊर्जा के वितरण और ट्रेडिंग के लिए

4.2 निजी क्षेत्र की भागीदारी

- **परमाणु ऊर्जा विभाग** के अंतर्गत निजी भागीदारी के लिए अलग प्रभाग
- **NPCIL** द्वारा निजी उद्योगों के लिए **Request for Proposal (RFP)** जारी करना
- **टाटा पावर और नवीन जिंदल ग्रुप** जैसी कंपनियों की रुचि

4.3 अंतर्राष्ट्रीय सहयोग

- **अमेरिकी कंपनी होल्टेक इंटरनेशनल** के साथ साझेदारी की चर्चा
- **अमेरिका से SMR तकनीक** के आयात की अनुमति
- **IAEA** के साथ नियामक सामंजस्य पर कार्य

5.0 चुनौतियां और समाधान

5.1 तकनीकी चुनौतियां

यूरेनियम की उपलब्धता: आयात पर निर्भरता को कम करने के लिए घरेलू खनन का विस्तार

तकनीकी जनशक्ति: विशेषज्ञ वैज्ञानिकों और इंजीनियरों का विकास

अपशिष्ट प्रबंधन: रेडियोएक्टिव अपशिष्ट के सुरक्षित भंडारण और निपटान

5.2 वित्तीय चुनौतियां

उच्च प्रारंभिक निवेश: बड़े पूंजी निवेश की आवश्यकता

दीर्घकालिक परियोजनाएं: लंबी निर्माण अवधि और रिटर्न ऑन इन्वेस्टमेंट

निजी वित्तपोषण: निजी क्षेत्र के लिए आकर्षक बनाने हेतु नीतिगत सुधार

5.3 सामाजिक और पर्यावरणीय चुनौतियां

जनता की धारणा: परमाणु ऊर्जा के बारे में जागरूकता बढ़ाना

भूमि अधिग्रहण: समुदायों का विस्थापन और पुनर्वास

पर्यावरणीय प्रभाव: जल संसाधनों और स्थानीय पारिस्थितिकी पर प्रभाव

6.0 निष्कर्ष

भारत की परमाणु ऊर्जा यात्रा एक महत्वाकांक्षी और आवश्यक पहल है जो देश के **विकसित भारत 2047** के दृष्टिकोण और **नेट ज़ीरो 2070** की प्रतिबद्धता को पूरा करने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगी। **केंद्रीय बजट 2025-26** में परमाणु ऊर्जा मिशन की घोषणा और **100 GW** के महत्वाकांक्षी लक्ष्य से स्पष्ट है कि सरकार इस क्षेत्र को उच्च प्राथमिकता दे रही है।

स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMR) का विकास इस दिशा में एक क्रांतिकारी कदम है जो न केवल तकनीकी नवाचार को दर्शाता है बल्कि व्यावहारिक समाधान भी प्रदान करता है। **फैक्ट्री-बिल्ट, मॉड्यूलर डिज़ाइन** से निर्माण समय और लागत में कमी, बढ़ी हुई सुरक्षा, और लचीला परिनियोजन संभव होता है।

तीन-चरणीय परमाणु कार्यक्रम के तहत भारत के विशाल **थोरियम भंडार** का उपयोग दीर्घकालिक ऊर्जा सुरक्षा सुनिश्चित करेगा। **निजी क्षेत्र की भागीदारी** को प्रोत्साहित करने के लिए नीतिगत सुधारों से इस क्षेत्र में निवेश और नवाचार में तेज़ी आएगी।

हालांकि **तकनीकी, वित्तीय और सामाजिक चुनौतियां** मौजूद हैं, लेकिन **सरकार की दृढ़ प्रतिबद्धता, स्वदेशी तकनीकी क्षमता, और अंतर्राष्ट्रीय सहयोग** के साथ इन्हें संबोधित किया जा सकता है।

परमाणु ऊर्जा न केवल भारत की बढ़ती ऊर्जा आवश्यकताओं को पूरा करेगी बल्कि **औद्योगिक डीकार्बनाइज़ेशन, ऊर्जा सुरक्षा, और आर्थिक विकास** में भी महत्वपूर्ण योगदान देगी। **आत्मनिर्भर भारत** की दिशा में यह एक महत्वपूर्ण स्तंभ के रूप में कार्य करेगी और विश्व में भारत को एक **स्वच्छ ऊर्जा लीडर** के रूप में स्थापित करने में सहायक होगी।

सफलता की कुंजी समयबद्ध कार्यान्वयन, निरंतर नवाचार, प्रभावी जन संचार, और सभी हितधारकों के बीच समन्वय में निहित है। इस मिशन से भारत न केवल अपने जलवायु लक्ष्यों को प्राप्त करेगा बल्कि वैश्विक ऊर्जा परिवर्तन में एक अग्रणी भूमिका भी निभाएगा।

******

ऊर्जा संक्रमण और ऊर्जा सुरक्षा के परिप्रेक्ष्य में परमाणु ऊर्जा संयंत्रों की भूमिका

रीता नागदेवे, उप निदेशक, थर्मल इंजीनियरिंग और प्रौद्योगिकी विकास प्रभाग

भारत आज तीव्र गति से विकासशील अर्थव्यवस्था है। उद्योगों, परिवहन, शहरीकरण और ग्रामीण विद्युतीकरण की बढ़ती मांग के चलते ऊर्जा की आवश्यकता प्रतिदिन बढ़ रही है। वर्तमान में भारत दुनिया का तीसरा सबसे बड़ा ऊर्जा उपभोक्ता देश है। परंतु इस बढ़ती ऊर्जा खपत को पूरा करने के साथ-साथ पर्यावरणीय दुष्प्रभावों को नियंत्रित करना और ऊर्जा आपूर्ति की स्थिरता सुनिश्चित करना भारत के सामने बड़ी चुनौती है। इसी संदर्भ में **परमाणु ऊर्जा संयंत्र** भारत की ऊर्जा संक्रमण और ऊर्जा सुरक्षा में महत्वपूर्ण भूमिका निभा सकते हैं। परमाणु ऊर्जा एक सुव्यवस्थित प्रौद्योगिकी है, जिसने उपभोक्ताओं को 50 से अधिक वर्षों से बिजली उपलब्ध कराई है और इसे विश्व के 40 से अधिक देशों में सुरक्षित और किफ़ायती ऊर्जा आपूर्ति में एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाने के रूप में देखा जाता है। परमाणु ऊर्जा का योगदान वैश्विक स्तर पर कुल बिजली उत्पादन में लगभग 10% है, जो विकसित अर्थव्यवस्थाओं में बढ़कर लगभग 20% तक पहुँच जाता है। दुनिया के लगभग 420 रिएक्टरों से उत्पादन 2025 में नए शिखर पर पहुँचने की राह पर है। भले ही कुछ देश परमाणु ऊर्जा को चरणबद्ध तरीके से बंद कर रहे हों या संयंत्रों को समय से पहले सेवानिवृत्त कर रहे हों, फिर भी वैश्विक स्तर पर परमाणु संयंत्रों से उत्पादन बढ़ रहा है, क्योंकि जापान में उत्पादन फिर से शुरू हो रहा है, फ्रांस में रखरखाव कार्य पूरे हो रहे हैं और चीन, भारत, कोरिया और यूरोप सहित विभिन्न बाज़ारों में नए रिएक्टर व्यावसायिक संचालन शुरू कर रहे हैं।

भारत का ऊर्जा परिदृश्य

भारत की ऊर्जा खपत मुख्यतः कोयले, तेल और गैस जैसे जीवाश्म ईंधनों पर आधारित है।

- **कोयला** - बिजली उत्पादन में लगभग 69% योगदान देता है।
- **नवीकरणीय ऊर्जा (सौर, पवन, जलविद्युत)** - लगभग 26% योगदान।
- **परमाणु ऊर्जा** - लगभग 3% योगदान।

भारत ने वर्ष 2070 तक **नेट ज़ीरो उत्सर्जन** (Net Zero Emission) का लक्ष्य रखा है। इस दिशा में जीवाश्म ईंधनों पर निर्भरता कम करना और स्वच्छ ऊर्जा स्रोतों का विस्तार करना आवश्यक है।

परमाणु ऊर्जा: ऊर्जा संक्रमण का प्रमुख साधन

परमाणु ऊर्जा संयंत्र यूरेनियम या थोरियम जैसे रेडियोधर्मी ईंधनों का प्रयोग करके बिजली उत्पन्न करते हैं। इनकी विशेषताएँ इस प्रकार हैं:

1. **कार्बन उत्सर्जन रहित उत्पादन** - परमाणु बिजली उत्पादन में ग्रीनहाउस गैसों का उत्सर्जन नगण्य होता है।
2. **बेसलोड पावर सप्लाई** - सौर और पवन ऊर्जा मौसम पर निर्भर रहती हैं, जबकि परमाणु संयंत्र 24x7 स्थिर बिजली आपूर्ति देते हैं।
3. **उच्च ऊर्जा घनत्व** - कम मात्रा के ईंधन से बहुत अधिक बिजली उत्पन्न होती है।
4. **दीर्घकालिक समाधान** - भारत में थोरियम का विशाल भंडार है, जिसका उपयोग भविष्य में ऊर्जा आत्मनिर्भरता के लिए किया जा सकता है।

भारत का परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम

भारत का परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम तीन चरणों में संरचित है, जिसे डॉ. होमी भाभा ने प्रस्तावित किया था:

1. **पहला चरण - प्राकृतिक यूरेनियम आधारित प्रेसराइज्ड हैवी वाटर रिएक्टर**
   - इसमें यूरेनियम-235 का उपयोग होता है।
   - इस चरण में उत्पन्न प्लूटोनियम अगली पीढ़ी के रिएक्टरों के लिए आधार बनाता है।
2. **दूसरा चरण - फास्ट ब्रीडर रिएक्टर**
   - इसमें प्लूटोनियम और थोरियम का उपयोग कर अधिक ईंधन तैयार किया जाता है।
3. **तीसरा चरण - थोरियम आधारित रिएक्टर**
   - भारत के पास विश्व का सबसे बड़ा थोरियम भंडार है।
   - यह चरण भारत को पूर्ण ऊर्जा आत्मनिर्भर बना सकता है।

भारत में प्रचुर थोरियम भंडार है, जो वैश्विक कुल का 21% है। इस संसाधन का इस्तेमाल करने के लिए "भवानी" जैसी स्वदेशी परियोजनाएं विकसित की जा रही हैं, जिससे आयातित यूरेनियम और अन्य सामग्रियों पर निर्भरता कम हो रही है। भारत अपने सीमित यूरेनियम संसाधनों के सबसे अच्छे उपयोग और दीर्घकालिक ऊर्जा सुरक्षा के लिए विशाल थोरियम संसाधनों का दोहन करने के लिए तीन-चरणीय परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम चला रहा है, जिसमें लगभग बंद परमाणु ईंधन चक्र का पालन किया जाता है, जिसमें रिएक्टरों से खर्च ईंधन को अपशिष्ट के बजाय संसाधन सामग्री के रूप में माना जाता है।

ऊर्जा सुरक्षा में परमाणु ऊर्जा की भूमिका

1. **ईंधन विविधीकरण** - परमाणु ऊर्जा जीवाश्म ईंधनों पर निर्भरता कम करती है।
2. **आयात पर निर्भरता में कमी** - तेल और गैस का बड़ा हिस्सा भारत आयात करता है। परमाणु ऊर्जा आत्मनिर्भरता बढ़ाती है।
3. **दीर्घकालिक स्थिरता** - परमाणु संयंत्र दशकों तक काम करते हैं और उत्पादन स्थिर रहता है।
4. **रणनीतिक महत्व** - परमाणु तकनीक का विकास भारत की वैज्ञानिक क्षमता और वैश्विक स्थिति को मजबूत करता है।

भारत में परमाणु ऊर्जा संयंत्र

वर्तमान में भारत में 7 परमाणु ऊर्जा स्थल कार्यरत हैं:

- तारापुर (महाराष्ट्र)
- रावतभाटा (राजस्थान)
- काकरापार (गुजरात)
- नरौरा (उत्तर प्रदेश)
- कैगा (कर्नाटक)
- कुडनकुलम (तमिलनाडु)
- कलपक्कम (तमिलनाडु)

भारत वर्तमान में सात स्थानों पर 25 परमाणु संयंत्र संचालित कर रहा है, जिनकी कुल स्थापित क्षमता 8780 मेगावाट (आरएपीएस 1 - 100 मेगावाट को छोड़कर) है, जो देश के बिजली उत्पादन में लगभग 3 प्रतिशत का योगदान देता है।

ऊर्जा संक्रमण में योगदान

1. **कोयले पर निर्भरता में कमी** - परमाणु ऊर्जा स्वच्छ विकल्प देती है।
2. **नवीकरणीय ऊर्जा का पूरक** - जब सूर्य या हवा उपलब्ध नहीं होती, तब परमाणु संयंत्र निरंतर बिजली आपूर्ति बनाए रखते हैं।
3. **औद्योगिकीकरण और हरित हाइड्रोजन** - परमाणु ऊर्जा से बड़ी मात्रा में बिजली और ताप उपलब्ध हो सकता है, जो हरित हाइड्रोजन उत्पादन के लिए जरूरी है।
4. **ग्रामीण विद्युतीकरण** - स्थिर आपूर्ति से दूरदराज़ क्षेत्रों तक बिजली पहुँचना आसान होता है।

चुनौतियाँ

1. **उच्च प्रारंभिक लागत** - परमाणु संयंत्र बनाने में भारी निवेश और लंबा समय लगता है।
2. **यूरेनियम आयात पर निर्भरता** - भारत के पास सीमित यूरेनियम भंडार है।
3. **सुरक्षा और अपशिष्ट प्रबंधन** - रेडियोधर्मी कचरे का सुरक्षित निपटान बड़ी चुनौती है।
4. **सार्वजनिक धारणा** - चेर्नोबिल और फुकुशिमा जैसी दुर्घटनाओं के कारण लोगों में भय बना रहता है।
5. **तकनीकी और कानूनी बाधाएँ** - अंतरराष्ट्रीय सहयोग और तकनीक हस्तांतरण में कई बार प्रतिबंध लगते हैं।

भविष्य की संभावनाएँ

1. **थोरियम आधारित रिएक्टर** - भारत का दीर्घकालिक लक्ष्य थोरियम पर आधारित ऊर्जा आत्मनिर्भरता है।
2. **छोटे मॉड्यूलर रिएक्टर** - ये तेज़ी से स्थापित हो सकते हैं और सुरक्षित भी होते हैं।
3. **अंतरराष्ट्रीय सहयोग** - रूस, अमेरिका और फ्रांस के साथ समझौते से तकनीकी प्रगति होगी।
4. **'मेक इन इंडिया' पहल** - स्वदेशी तकनीक से रिएक्टर निर्माण क्षमता में वृद्धि।
5. **हरित ऊर्जा मिश्रण** - सौर, पवन और परमाणु का संयुक्त मिश्रण भारत की ऊर्जा सुरक्षा को मजबूत करेगा।

निष्कर्ष

भारत का ऊर्जा भविष्य स्वच्छ, सुलभ और सुरक्षित ऊर्जा पर आधारित होना चाहिए। परमाणु ऊर्जा संयंत्र इस दिशा में महत्वपूर्ण स्तंभ साबित हो सकते हैं। ये न केवल ग्रीनहाउस गैसों में कमी लाने में मदद करेंगे, बल्कि स्थिर और भरोसेमंद बिजली आपूर्ति भी सुनिश्चित करेंगे। चुनौतियों के बावजूद यदि सुरक्षा मानकों का पालन किया जाए, स्वदेशी संसाधनों का उपयोग बढ़ाया जाए और तकनीकी विकास को प्रोत्साहन दिया जाए तो परमाणु ऊर्जा भारत की **ऊर्जा संक्रमण यात्रा और ऊर्जा सुरक्षा** में केंद्रीय भूमिका निभा सकती है। भारत में नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों का विस्तार हो रहा है, लेकिन वे अकेले बेस-लोड डिमांड को पूरा नहीं कर सकते हैं, जिससे परमाणु ऊर्जा भारत की ऊर्जा रणनीति का एक प्रमुख घटक बन गई है।

******

विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान

रोमित शर्मा, सहायक निदेशक-I, टीईएंडटीडी प्रभाग, सीईए

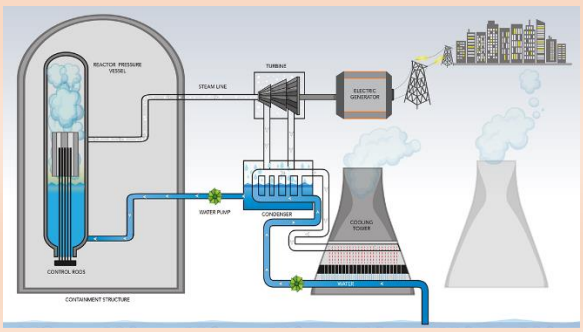
परिचय

बिजली आधुनिक सभ्यता की रीढ़ है, जो उद्योगों, कृषि, घरों और संचार प्रणालियों को शक्ति प्रदान करती है। औद्योगीकरण, शहरीकरण और तकनीकी विकास के कारण दुनिया भर में बिजली की मांग तेज़ी से बढ़ रही है। जैसे-जैसे देश आर्थिक विकास के लिए प्रयासरत हैं, विश्वसनीय और निर्बाध बिजली की मांग भी बढ़ती जा रही है। इस मांग को पूरा करने के लिए विश्वसनीय, किफायती और स्वच्छ ऊर्जा स्रोतों की आवश्यकता है।

परंपरागत रूप से, इस मांग को कोयला, तेल और गैस आधारित ताप विद्युत संयंत्रों द्वारा पूरा किया जाता रहा है, जो दशकों से बिजली उत्पादन में अग्रणी रहे हैं। हालाँकि ये स्रोत सस्ते और व्यापक रूप से उपलब्ध हैं, लेकिन भारी कार्बन उत्सर्जन और वायु प्रदूषण, ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन, भूमि क्षरण और पर्यावरणीय प्रभावों के संदर्भ में इनके पर्यावरणीय प्रभाव ने इन्हें दीर्घावधि में टिकाऊ नहीं बनाया है। सौर, पवन और जलविद्युत जैसे नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों का तेज़ी से विस्तार हो रहा है, लेकिन ये अक्सर अनियमित होते हैं और प्राकृतिक परिस्थितियों पर निर्भर होते हैं।

पिछले दो दशकों में सौर, पवन और जलविद्युत जैसी नवीकरणीय ऊर्जा का तेज़ी से विस्तार हुआ है। उदाहरण के लिए, भारत ने 2025 तक 220 गीगावाट से ज़्यादा नवीकरणीय ऊर्जा क्षमता स्थापित कर ली है, जिससे वह दुनिया के शीर्ष नवीकरणीय ऊर्जा उत्पादकों में से एक बन गया है। हालाँकि, नवीकरणीय ऊर्जाएँ अत्यधिक मौसम पर निर्भर और अनियमित होती हैं—सौर ऊर्जा केवल तभी काम करती है जब सूर्य चमकता है, और पवन ऊर्जा हवा की स्थिति पर निर्भर करती है। चौबीसों घंटे, बेस-लोड बिजली उपलब्ध कराने के लिए, देशों को एक स्थिर विकल्प की आवश्यकता है। परमाणु ऊर्जा, जो न्यूनतम ग्रीनहाउस उत्सर्जन के साथ भारी मात्रा में बिजली पैदा करती है, भविष्य के ऊर्जा क्षेत्र का एक मज़बूत स्तंभ है।

इस संदर्भ में, परमाणु ऊर्जा वैश्विक ऊर्जा क्षेत्र में एक महत्वपूर्ण योगदानकर्ता के रूप में उभरी है। यह बहुत कम ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन के साथ बड़ी मात्रा में बिजली प्रदान करती है, जिससे यह जलवायु परिवर्तन के प्रभावों को कम करने का एक महत्वपूर्ण विकल्प बन जाती है। भारत सहित कई देशों ने अपने ऊर्जा मिश्रण को संतुलित करने, ऊर्जा सुरक्षा को मज़बूत करने और जीवाश्म ईंधन पर निर्भरता कम करने के लिए परमाणु ऊर्जा संयंत्रों में निवेश किया है।



चित्र: एक परमाणु रिएक्टर के कार्य का योजनाबद्ध आरेख

परमाणु ऊर्जा का अवलोकन

परमाणु ऊर्जा मुख्यतः नाभिकीय विखंडन की प्रक्रिया से उत्पन्न होती है, जिसमें यूरेनियम-235

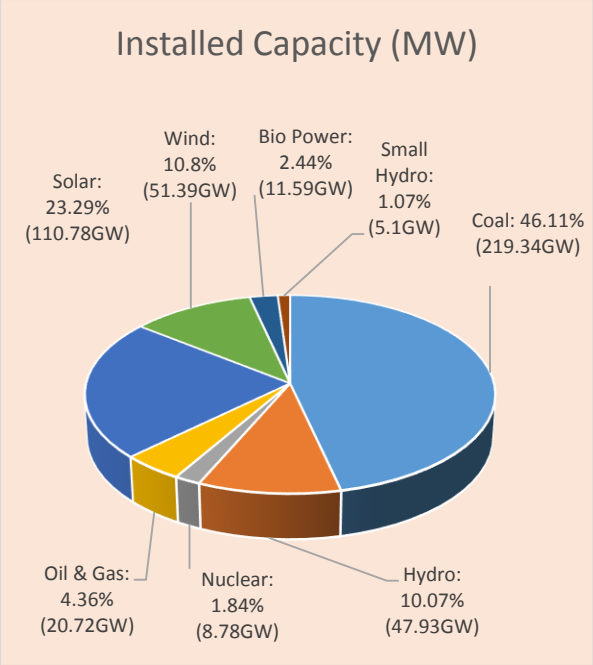
या प्लूटोनियम-239 जैसे भारी परमाणु का नाभिक न्यूट्रॉनों की बमबारी से छोटे नाभिकों में विभाजित हो जाता है। इस प्रक्रिया से बड़ी मात्रा में ऊष्मा ऊर्जा निकलती है, जिसका उपयोग पानी को भाप में बदलने के लिए किया जाता है। यह भाप टर्बाइनों को घुमाती है जिससे बिजली उत्पन्न होती है। एक परमाणु ऊर्जा संयंत्र ईंधन भरने से पहले महीनों तक लगातार हजारों मेगावाट बिजली उत्पन्न कर सकता है।

जीवाश्म ईंधनों के विपरीत, परमाणु विखंडन के दौरान कार्बन डाइऑक्साइड उत्पन्न नहीं होती। इसलिए, इन्हें कम कार्बन वाली तकनीक माना जाता है, जो उत्पादित बिजली की प्रति इकाई उत्सर्जन के मामले में पवन और सौर ऊर्जा के बराबर है। आधुनिक परमाणु रिएक्टरों को कई सुरक्षा प्रणालियों के साथ डिज़ाइन किया गया है, और फ़ास्ट ब्रीडर रिएक्टरों (FBR) और थोरियम-आधारित रिएक्टरों जैसी उन्नत तकनीकों पर निरंतर अनुसंधान किया जा रहा है।

भारत का परमाणु अनुसंधान 1948 में डॉ. होमी जे. भाभा के नेतृत्व में स्थापित परमाणु ऊर्जा आयोग से शुरू हुआ, जिन्होंने त्रि-स्तरीय परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम की परिकल्पना की थी। 1974 के अपने परमाणु परीक्षण (पोखरण-I) के बाद परमाणु ईंधन के आयात पर प्रतिबंधों के कारण भारत ने आत्मनिर्भरता के लिए आक्रामक रूप से प्रयास किया। स्वदेशीकरण का यह इतिहास परमाणु प्रौद्योगिकी में महारत हासिल करने वाले विकासशील देशों में भारत को अद्वितीय बनाता है।

विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा

विश्व स्तर पर, परमाणु ऊर्जा कुल बिजली उत्पादन (लगभग 2,600 TWh वार्षिक) का लगभग 10% योगदान देती है। फ्रांस, संयुक्त राज्य अमेरिका, रूस और चीन जैसे देशों ने रिएक्टरों के विशाल बेड़े स्थापित किए हैं। संयुक्त राज्य अमेरिका रिएक्टरों के सबसे बड़े बेड़े (लगभग 94) का संचालन करता है, जो अपनी लगभग 20% बिजली परमाणु ऊर्जा से उत्पन्न करता है। फ्रांस परमाणु ऊर्जा पर सबसे अधिक निर्भर है–उसकी लगभग 70% बिजली परमाणु संयंत्रों से आती है। चीन तेज़ी से विस्तार कर रहा है और उम्मीद है कि एक दशक के भीतर वह परमाणु क्षमता में अमेरिका से आगे निकल जाएगा।



चित्र: भारत में स्थापित विद्युत क्षमता (2025)

भारत में, परमाणु ऊर्जा, बिजली उत्पादन का एक छोटा लेकिन महत्वपूर्ण हिस्सा है। देश में वर्तमान में 8,000 मेगावाट से अधिक की परमाणु क्षमता संचालित है, जो तमिलनाडु, महाराष्ट्र, गुजरात और राजस्थान जैसे राज्यों में स्थित रिएक्टरों में फैली हुई है। भारत के बिजली उत्पादन में परमाणु ऊर्जा का योगदान लगभग 2% है, लेकिन इसे उल्लेखनीय रूप से बढ़ाने के लिए विस्तार योजनाएँ चल रही हैं। भारत की बढ़ती आबादी और बढ़ती ऊर्जा आवश्यकताओं को देखते हुए, नवीकरणीय ऊर्जा को बढ़ावा देने और कोयले पर निर्भरता कम करने के लिए परमाणु ऊर्जा को एक विश्वसनीय विकल्प माना जा रहा है।

परमाणु ऊर्जा के लाभ

- **कम कार्बन उत्सर्जन:** परमाणु ऊर्जा संयंत्र संचालन के दौरान नगण्य मात्रा में कार्बन डाइऑक्साइड उत्सर्जित करते हैं, जिससे वे जीवाश्म ईंधन का एक स्वच्छ विकल्प बन जाते हैं। यह जलवायु परिवर्तन को कम करने में मदद करता है। परमाणु ऊर्जा का जीवनचक्र उत्सर्जन लगभग **12** ग्राम **CO_2/kWh** है, जो

पवन ऊर्जा के समान और कोयले **(820** ग्राम **CO_2/kWh)** से बहुत कम है।

- **उच्च ऊर्जा घनत्व:** यूरेनियम ईंधन की बहुत कम मात्रा से भारी मात्रा में बिजली उत्पन्न की जा सकती है। उदाहरण के लिए, **1** किलोग्राम यूरेनियम-**235** से **24,000,000 kWh** ऊर्जा उत्पन्न हो सकती है, जबकि **1** किलोग्राम कोयले से **8 kWh** ऊर्जा उत्पन्न होती है।
- **विश्वसनीय बेस-लोड बिजली:** सौर और पवन ऊर्जा के विपरीत, जो मौसम की स्थिति पर निर्भर करते हैं, परमाणु संयंत्र बिना किसी रुकावट के महीनों तक लगातार चल सकते हैं। ये स्थिर और बड़े पैमाने पर बिजली आपूर्ति प्रदान करते हैं। परमाणु रिएक्टर **80-90%** से ज़्यादा क्षमता कारकों पर काम करते हैं, जबकि सौर/पवन रिएक्टरों के लिए यह **20-30%** होता है। इसका मतलब है कि वे मौसम की परवाह किए बिना लगभग निरंतर चलते रहते हैं।
- दीर्घकालिक ऊर्जा सुरक्षा: भारत जैसे देशों के लिए, परमाणु ऊर्जा आयातित जीवाश्म ईंधन पर निर्भरता कम करती है और ऊर्जा क्षेत्र में आत्मनिर्भरता में योगदान देती है। भारत सालाना 20 करोड़ टन से ज़्यादा कोयले का आयात करता है। परमाणु ऊर्जा का विस्तार करके, भारत महंगे आयात पर निर्भरता कम कर सकता है और अपनी आत्मनिर्भर भारत पहल को मज़बूत कर सकता है।
- लंबी परिचालन अवधि: रिएक्टर अक्सर 40-60 वर्षों तक सुरक्षित रूप से संचालित होते हैं, और इनकी जीवन अवधि बढ़ाई जा सकती है।

पैरामीटर	**परमाणु**	**कोयला**	**नवीकरणीय ऊर्जा (सौर/पवन)**
CO2 उत्सर्जन	बहुत कम	बहुत ज़्यादा	शून्य (संचालन के दौरान)
विश्वसनीयता	उच्च (आधार-भार)	ज़्यादा	कम (आंतरायिक)
ईंधन उपलब्धता	सीमित (यूरेनियम)	प्रचुर मात्रा में (भारत)	अनंत (सूर्य, पवन)
उत्पादन लागत	मध्यम-उच्च (उच्च सेटअप, कम संचालन)	कम (सेटअप और संचालन)	कम (तेज़ी से गिरना)
अपशिष्ट प्रबंधन	उच्च (रेडियोधर्मी)	मध्यम (राख)	नगण्य

चुनौतियाँ और जोखिम

इसके लाभों के बावजूद, परमाणु ऊर्जा में कुछ चुनौतियाँ भी हैं जिनका सावधानीपूर्वक समाधान किया जाना आवश्यक है:

- **सुरक्षा संबंधी चिंताएँ:** चेरनोबिल **(1986)** और फुकुशिमा **(2011)** जैसी परमाणु दुर्घटनाओं ने विकिरण उत्सर्जन के जोखिमों को दर्शाया है। हालाँकि आधुनिक रिएक्टर कहीं अधिक सुरक्षित हैं और भारतीय रिएक्टर परमाणु ऊर्जा नियामक बोर्ड **(**एईआरबी**)** के तहत कड़े सुरक्षा प्रोटोकॉल का पालन करते हैं, फिर भी जनता की धारणा और भय बना हुआ है। सार्वजनिक स्वीकृति और गलत सूचना अक्सर परमाणु विस्तार को धीमा कर देती है, जिससे जागरूकता ज़रूरी हो जाती है।
- **रेडियोधर्मी अपशिष्ट प्रबंधन:** प्रयुक्त परमाणु ईंधन हज़ारों वर्षों तक रेडियोधर्मी रहता है। भारत बंद ईंधन चक्र और पुनर्प्रसंस्करण संयंत्र जैसी रणनीतियों का उपयोग करता है, लेकिन इस अपशिष्ट का सुरक्षित निपटान और भंडारण एक गंभीर चुनौती है।
- उच्च लागत: नवीकरणीय ऊर्जा परियोजनाओं की तुलना में परमाणु ऊर्जा संयंत्र स्थापित करने के लिए भारी पूंजी निवेश और लंबे निर्माण समय की आवश्यकता होती है। प्रत्येक परमाणु संयंत्र के लिए ₹20,000-30,000 करोड़ के निवेश की आवश्यकता होती है और अक्सर

निर्माण में लंबी देरी का सामना करना पड़ता है (उदाहरण के लिए, कुडनकुलम परियोजना)।

- सीमित यूरेनियम संसाधन: यूरेनियम उपलब्ध तो है, लेकिन थोरियम रिएक्टर जैसी उन्नत तकनीकों का पूर्ण विकास न होने तक, दीर्घकालिक निर्भरता संसाधनों की उपलब्धता को लेकर चिंताएँ पैदा करती है। भारत कज़ाकिस्तान, कनाडा और ऑस्ट्रेलिया जैसे देशों से यूरेनियम का आयात करता है। इसलिए, दीर्घकालिक स्थिरता के लिए थोरियम-आधारित रिएक्टरों का विकास अत्यंत महत्वपूर्ण है।

तकनीकी विकास और नवाचार

इन चुनौतियों से निपटने के लिए परमाणु प्रौद्योगिकी में महत्वपूर्ण प्रगति की जा रही है:

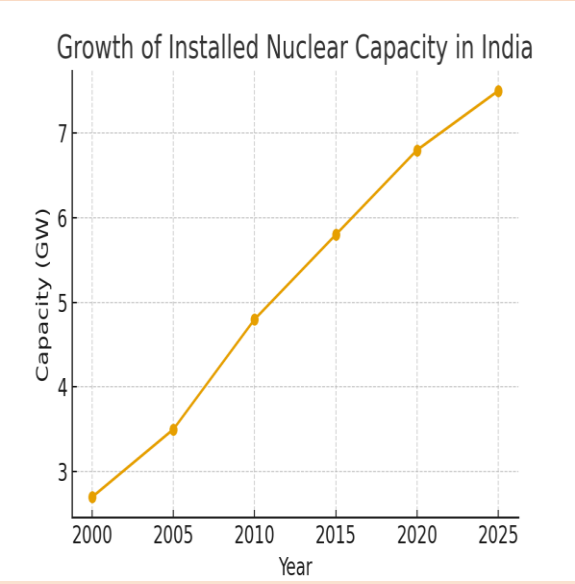
- **फास्ट ब्रीडर रिएक्टर** (FBR): ये रिएक्टर अपनी खपत से ज़्यादा ईंधन उत्पन्न करते हैं, जिससे संसाधनों का उपयोग बेहतर होता है। भारत कलपक्कम में अपना प्रोटोटाइप फास्ट ब्रीडर रिएक्टर **(500** मेगावाट**)** बना रहा है, जो प्लूटोनियम का उपयोग करके अपनी खपत से ज़्यादा ईंधन उत्पन्न करेगा।
- **थोरियम रिएक्टर**: भारत, जिसके पास सबसे बड़ा थोरियम भंडार **(**विश्व के थोरियम भंडार का लगभग **25%)** है, थोरियम-आधारित ईंधन चक्रों पर ध्यान केंद्रित कर रहा है। इससे सदियों तक स्थायी परमाणु ऊर्जा प्राप्त की जा सकती है।
- **छोटे मॉड्यूलर रिएक्टर** (SMR): ये कॉम्पैक्ट, फ़ैक्टरी-निर्मित रिएक्टर **(50-300** मेगावाट**)** हैं जिनमें बेहतर सुरक्षा और लचीलापन है और इन्हें कम शुरुआती लागत और बेहतर सुरक्षा के साथ दूरदराज के क्षेत्रों में तैनात किया जा सकता है।
- **उन्नत सुरक्षा विशेषताएँ**: निष्क्रिय शीतलन प्रणालियाँ, डिजिटल निगरानी और बहु-परत नियंत्रण संरचनाएँ रिएक्टरों को पहले से कहीं अधिक सुरक्षित बना रही हैं।

नीति और सरकारी पहल

भारत का परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम डॉ. होमी जे. भाभा द्वारा प्रस्तावित तीन-चरणीय योजना द्वारा निर्देशित है।

- **चरण** 1: दाबयुक्त भारी जल रिएक्टरों **(**पीएचडब्ल्यूआर**)** में प्राकृतिक यूरेनियम का उपयोग करें।
- **चरण** 2: प्लूटोनियम का उपयोग करके फास्ट ब्रीडर रिएक्टरों की स्थापना करें।
- **चरण** 3: दीर्घकालिक स्थिरता प्राप्त करने के लिए थोरियम-आधारित रिएक्टरों का उपयोग करें।

भारत सरकार ने तकनीक और यूरेनियम ईंधन तक पहुँच बढ़ाने और आपूर्ति श्रृंखलाओं को और मज़बूत करने के लिए संयुक्त राज्य अमेरिका (भारत-अमेरिका असैन्य परमाणु समझौता (2008)), फ्रांस, रूस और कज़ाकिस्तान जैसे कई देशों के साथ असैन्य परमाणु सहयोग समझौते भी किए हैं। भारतीय परमाणु ऊर्जा निगम लिमिटेड (एनपीसीआईएल) वाणिज्यिक परमाणु रिएक्टरों का प्रबंधन और संचालन करता है, भाभा परमाणु अनुसंधान केंद्र (बीएआरसी) परमाणु तकनीकों का विकास करता है, जबकि परमाणु ऊर्जा विभाग (डीएई) अनुसंधान और विकास की देखरेख करता है।



भविष्य का दृष्टिकोण

स्वच्छ और टिकाऊ ऊर्जा प्रणालियों की ओर संक्रमण में परमाणु ऊर्जा की भूमिका बढ़ने की उम्मीद है। भारत 2032 तक अपनी परमाणु ऊर्जा

क्षमता को तीन गुना बढ़ाने की योजना बना रहा है। पेरिस समझौते के तहत कार्बन उत्सर्जन को कम करने की वैश्विक प्रतिबद्धताओं (2030 तक कार्बन तीव्रता को 2005 के स्तर से 45% तक कम करने) के साथ, परमाणु ऊर्जा सौर और पवन जैसे नवीकरणीय स्रोतों के पूरक के रूप में एक स्थिर विकल्प प्रदान करती है।

तत्काल ध्यान निम्नलिखित पर केंद्रित होगा:

- स्वदेशी डिज़ाइन के साथ PHWR का विस्तार।
- कलपक्कम में प्रोटोटाइप FBR को पूरा करना।
- दीर्घकालिक सुरक्षा के लिए थोरियम आधारित रिएक्टर विकास में तेजी लाना।
- छोटे मॉड्यूलर रिएक्टरों (SMR) के लिए अंतर्राष्ट्रीय सहयोग की संभावनाएँ तलाशना।

यदि सफलतापूर्वक क्रियान्वित किया गया, तो परमाणु ऊर्जा अधिक सुरक्षित, अधिक किफायती और पर्यावरणीय रूप से टिकाऊ बन सकती है और भारत को स्वच्छ, विश्वसनीय और रणनीतिक ऊर्जा सुरक्षा प्रदान करेगी।

निष्कर्ष

परमाणु ऊर्जा ने स्वच्छ, विश्वसनीय और बड़े पैमाने पर बिजली उपलब्ध कराकर ऊर्जा क्षेत्र में महत्वपूर्ण योगदान दिया है। हालाँकि सुरक्षा, अपशिष्ट निपटान और लागत से संबंधित चुनौतियाँ अभी भी बनी हुई हैं, तकनीकी प्रगति और सख्त नियम इन मुद्दों को हल करने में मदद कर रहे हैं।

भारत जैसे देश के लिए, परमाणु ऊर्जा केवल बिजली की माँग को पूरा करने का एक समाधान नहीं है, बल्कि भारत की ऊर्जा आत्मनिर्भरता रणनीति, जीवाश्म ईंधन पर निर्भरता कम करने और सतत विकास सुनिश्चित करने की आधारशिला है। जैसे-जैसे दुनिया कम कार्बन उत्सर्जन वाले भविष्य की ओर बढ़ रही है, परमाणु ऊर्जा वैश्विक और राष्ट्रीय ऊर्जा क्षेत्र का एक महत्वपूर्ण स्तंभ बनी रहेगी।

******

परमाणु ऊर्जा संयंत्र की भूमिका - बेस लोड इनर्शिया और ऊर्जा परिवर्तन में

नरसी मीना, निदेशक (वित्तीय अध्ययन एवं विश्लेषण प्रभाग), केविप्रा

परिचय

बिजली आज की ज़िंदगी की एक बुनियादी ज़रूरत है। घर, स्कूल, अस्पताल, फैक्टरी और ऑफिस - सभी बिजली पर निर्भर करते हैं। बिजली को हमेशा उपलब्ध रखने के लिए अलग-अलग तरह के बिजली संयंत्र (पावर प्लांट) बनाए जाते हैं। कुछ संयंत्र लगातार चलते रहते हैं, जबकि कुछ सिर्फ तब चलते हैं जब बिजली की माँग ज़्यादा होती है।

इनमें से **परमाणु ऊर्जा संयंत्र (न्यूक्लियर पावर प्लांट)** बहुत अहम हैं।

परमाणु संयंत्र न सिर्फ लगातार और भरोसेमंद बिजली देते हैं, बल्कि यह बिजली व्यवस्था को स्थिर बनाए रखने में भी मदद करते हैं। यह विशेष रूप से **बेस लोड इनर्शिया** में बहुत महत्वपूर्ण है। साथ ही, परमाणु ऊर्जा हमें गंदे ईंधनों (जैसे कोयला और तेल) से स्वच्छ ऊर्जा की ओर ले जाने में मदद कर रही है। इसे **ऊर्जा परिवर्तन** कहा जाता है।

बेस लोड इनर्शिया में परमाणु संयंत्र की भूमिका

बेस लोड क्या है?

बेस लोड का मतलब है - **हर समय जरूरत होने वाली न्यूनतम बिजली।**

रात में भी शहरों को लाइट, फ्रिज, अस्पताल और फैक्ट्रियों के लिए बिजली चाहिए होती है। इसलिए कुछ संयंत्र ऐसे बनाए जाते हैं जो **24 घंटे लगातार** चलते हैं। इन्हें **बेस लोड पावर प्लांट** कहा जाता है। परमाणु संयंत्र इसके लिए बहुत उपयुक्त हैं।

इनर्शिया क्या है बिजली प्रणाली में?

बिजली व्यवस्था में **इनर्शिया (जड़त्व)** का काम होता है फ्रीक्वेंसी (Hz) को स्थिर रखना। अगर अचानक कोई खराबी हो जाए, जैसे कोई बड़ा संयंत्र बंद हो जाए या अचानक मांग बढ़ जाए, तो फ्रीक्वेंसी गिर सकती है। इससे **ब्लैकआउट** हो सकता है।

इनर्शिया बड़ी घूमने वाली मशीनों (टर्बाइन, जनरेटर) से आता है, जो गति में ऊर्जा संचित करती हैं। अगर कोई समस्या आती है, तो इनकी गति

अचानक बदलाव को धीमा करती है और सिस्टम को सुधारने का समय देती है।

परमाणु संयंत्र बेस लोड में कैसे मदद करते हैं?

- **लगातार संचालन:**
  परमाणु संयंत्र कई महीनों तक बिना रुके चल सकते हैं। इन्हें मौसम या समय से फर्क नहीं पड़ता।
- **उच्च क्षमता :**
  ये संयंत्र लगभग पूरे साल बिजली पैदा करते हैं - इनकी क्षमता 90% से ज्यादा होती है।
- **सस्ता और लंबा चलने वाला ईंधन:**
  संयंत्र बनाने में खर्च आता है, लेकिन ईंधन सस्ता होता है और लंबे समय तक चलता है।

परमाणु संयंत्र इनर्शिया में कैसे मदद करते हैं?

- **भारी घूमने वाले जनरेटर:**
  परमाणु संयंत्र बड़े टर्बाइन और जनरेटर का इस्तेमाल करते हैं जो इनर्शिया प्रदान करते हैं।
- **धीमे बदलाव:**
  अगर कोई समस्या हो, तो इनका घूमना फ्रीक्वेंसी को गिरने से रोकता है और सुधार के लिए समय देता है।
- **इमरजेंसी स्थिरता:**
  पवन और सौर जैसे नवीकरणीय स्रोतों में इनर्शिया नहीं होता, इसलिए परमाणु संयंत्र इस कमी को पूरा करते हैं।

नवीकरणीय ऊर्जा की तुलना में

- पवन और सौर ऊर्जा साफ-सुथरी है, लेकिन ये **हर समय उपलब्ध नहीं** होती।
- ये इनर्शिया भी नहीं देतीं।
- इसलिए हमें अभी भी परमाणु ऊर्जा की ज़रूरत है ताकि **बेस लोड और स्थिरता** बनी रहे।

निष्कर्ष

परमाणु संयंत्र बिजली व्यवस्था के लिए बहुत जरूरी हैं।

वे लगातार बिजली देते हैं, बेस लोड को संभालते हैं और ग्रिड को स्थिर बनाए रखते हैं।

भले ही नवीकरणीय ऊर्जा बढ़ रही है, लेकिन **परमाणु ऊर्जा अभी भी हमारी बिजली प्रणाली की रीढ़** है।

ऊर्जा परिवर्तन में परमाणु ऊर्जा संयंत्र की भूमिका

ऊर्जा परिवर्तन क्या है?

ऊर्जा परिवर्तन का मतलब है - **गंदे ईंधन** (जैसे कोयला, तेल, गैस) से **स्वच्छ और हरित ऊर्जा** (जैसे सौर, पवन, जल) की ओर बढ़ना।

इससे हमें मदद मिलती है:

- वायु प्रदूषण कम करने में
- ग्रीनहाउस गैसें घटाने में
- जलवायु परिवर्तन से लड़ने में
- इंसानों की सेहत बचाने में
- ऊर्जा के मामले में आत्मनिर्भर बनने में

लेकिन सौर और पवन ऊर्जा **हर समय उपलब्ध नहीं होती**, इसलिए हमें **स्थिर और कम-कार्बन** स्रोत जैसे **परमाणु ऊर्जा** की भी ज़रूरत है।

परमाणु ऊर्जा क्या है?

परमाणु ऊर्जा **एटम (परमाणु) को तोड़कर** (न्यूक्लियर फिशन) प्राप्त की जाती है। इससे गर्मी बनती है, जो भाप बनाकर टर्बाइन घुमाती है और बिजली बनती है। परमाणु संयंत्र बिजली बनाते समय **CO_2 नहीं छोड़ते**, इसलिए ये **कम-कार्बन स्रोत** माने जाते हैं।

ऊर्जा परिवर्तन में परमाणु ऊर्जा की मदद

- **कम-कार्बन बिजली:**
  बिजली बनाने में CO_2 नहीं बनता, जिससे **ग्लोबल वॉर्मिंग कम** होती है।
- **भरोसेमंद और लगातार बिजली:**
  परमाणु संयंत्र 24 घंटे, हर मौसम में काम करते हैं।
- **नवीकरणीय ऊर्जा को समर्थन:**
  जब सूरज या हवा से बिजली नहीं बनती, परमाणु संयंत्र उस कमी को पूरा करते हैं।
- **कोयले और गैस की जगह:**
  परमाणु ऊर्जा गंदे ईंधनों को रिप्लेस करके प्रदूषण घटाती है।
- **ऊर्जा सुरक्षा:**
  यूरेनियम जैसे परमाणु ईंधन को स्टोर करके

रखा जा सकता है - यह **आत्मनिर्भरता** देता है।

परमाणु ऊर्जा की चुनौतियाँ

- **न्यूक्लियर वेस्ट (कचरा):**
  यह हजारों साल तक रेडियोएक्टिव रहता है, सुरक्षित तरीके से रखना जरूरी होता है।
- **उच्च लागत:**
  संयंत्र बनाना महंगा और समय लेने वाला होता है।
- **हादसे और डर:**
  पुराने हादसों (जैसे चेरनोबिल, फुकुशिमा) की वजह से लोग डरते हैं, जबकि आज की तकनीक ज्यादा सुरक्षित है।

नई परमाणु तकनीकें

वैज्ञानिक अब नए रिएक्टर बना रहे हैं जैसे:

- **एसएमआर (छोटे मॉड्यूलर रिएक्टर)**
- **उन्नत रिएक्टर**

इनकी खासियतें:

- छोटे और सस्ते
- सुरक्षित और आसान
- जल्दी बनने वाले
- कम कचरा बनाने वाले

ये तकनीकें परमाणु ऊर्जा को भविष्य के लिए और बेहतर बना सकती हैं।

जलवायु लक्ष्यों में परमाणु ऊर्जा की भूमिका

कई देशों ने 2050 तक **नेट ज़ीरो उत्सर्जन** का लक्ष्य रखा है। इस लक्ष्य को पाने के लिए **परमाणु ऊर्जा का योगदान जरूरी** है, साथ ही सौर और पवन के साथ।

निष्कर्ष

ऊर्जा परिवर्तन बहुत जरूरी है ताकि हम पर्यावरण बचा सकें और जलवायु परिवर्तन से निपट सकें। लेकिन यह आसान नहीं है। नवीकरणीय ऊर्जा साफ है लेकिन हर समय उपलब्ध नहीं होती।

परमाणु ऊर्जा उस कमी को पूरा करती है - यह साफ, भरोसेमंद और शक्तिशाली है।

नई तकनीकों और सुरक्षा उपायों के साथ, परमाणु ऊर्जा हमें **हरित और सुरक्षित भविष्य** की ओर ले जा सकती है।

अंतिम निष्कर्ष

परमाणु ऊर्जा संयंत्र आज के ऊर्जा क्षेत्र में **दोहरी भूमिका** निभा रहे हैं:

1. **बेस लोड और इनर्शिया** देकर बिजली व्यवस्था को मजबूत और स्थिर बनाए रखते हैं।
2. **ऊर्जा परिवर्तन** में मदद करते हैं, गंदे ईंधनों की जगह लेते हैं और नवीकरणीय ऊर्जा का समर्थन करते हैं।

हालाँकि कुछ जोखिम हैं, लेकिन आधुनिक तकनीक और अच्छी नीतियों से इन्हें संभाला जा सकता है। समझदारी से योजना बनाकर, परमाणु ऊर्जा पूरी दुनिया के लिए **स्वच्छ और सुरक्षित ऊर्जा भविष्य** का रास्ता बन सकती है।

******

डीजल जनरेटर (DGs): न्यूक्लियर पावर प्लांट की सुरक्षा में एक अपरिहार्य स्तंभ।

मुकुल कुमार, उप निदेशक, बजट

डीजल जनरेटर (Diesel Generators (DGs)) आधुनिक विद्युत प्रणाली का एक अत्यंत आवश्यक हिस्सा बन चुके हैं, विशेषकर उन स्थानों पर जहाँ विद्युत आपूर्ति की निरंतरता अत्यधिक आवश्यक होती है। न्यूक्लियर पावर प्लांट्स (परमाणु ऊर्जा संयंत्र) ऐसे ही अति-संवेदनशील और उच्च सुरक्षा वाले प्रतिष्ठान हैं जहाँ बिजली की एक पल की भी कटौती विनाशकारी परिणाम ला सकती है। ऐसी स्थिति में, डीजल जनरेटर बैकअप पॉवर स्रोत के रूप में कार्य करते हुए संयंत्र की सुरक्षा और संचालन को सुनिश्चित करते हैं।

डीजल जनरेटर एक ऐसा यंत्र होता है जो डीजल ईंधन का उपयोग करके यांत्रिक ऊर्जा उत्पन्न करता है, जिसे फिर विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित किया जाता है। इसका मुख्य भाग एक डीजल इंजन और एक अल्टरनेटर होता है। जब डीजल इंजन को ईंधन दिया जाता है, तो वह घूमता है और अल्टरनेटर को घुमाता है, जिससे बिजली उत्पन्न होती है।

न्यूक्लियर पावर प्लांट एक अत्यधिक जटिल और संवेदनशील प्रणाली होती है जहाँ रिएक्टर को हमेशा ठंडा रखना, नियंत्रण प्रणालियों को संचालित करना और संचार नेटवर्क को चालू रखना अत्यावश्यक होता है। यदि किसी कारणवश मुख्य ग्रिड से बिजली की आपूर्ति बंद हो जाए, तो निम्नलिखित समस्याएँ उत्पन्न हो सकती हैं:

- **रिएक्टर का अत्यधिक तापमान बढ़ना**
  यदि रिएक्टर को ठंडा करने वाली प्रणाली काम करना बंद कर दे, तो फ्यूल रॉड्स अत्यधिक गर्म हो सकती हैं, जिससे रेडियोएक्टिव रिसाव की संभावना उत्पन्न होती है।
- **सिस्टम फेल्योर और अनियंत्रित स्थितियाँ**
  कंप्यूटर सिस्टम, नियंत्रण वाल्व, पंप और अन्य आवश्यक उपकरण बिजली के बिना कार्य नहीं कर सकते, जिससे संयंत्र की संचालन क्षमता ठप हो सकती है।
- **जन सुरक्षा को खतरा**
  किसी भी प्रकार की दुर्घटना से न केवल संयंत्र बल्कि आसपास के क्षेत्रों में रहने वाले लोगों की जान को भी खतरा हो सकता है।

इसलिए, ऐसी स्थिति में **डीजल जनरेटर संयंत्र की बैकअप लाइन ऑफ डिफेंस** बनते हैं, जो आवश्यक प्रणाली को बिजली की आपूर्ति निरंतर करते रहते हैं।

डीजल जनरेटर की प्रमुख भूमिकाएँ न्यूक्लियर प्लांट में:

- **आपातकालीन बिजली आपूर्ति**
  डीजी को इस प्रकार डिज़ाइन किया जाता है कि बिजली आपूर्ति बंद होते ही वे स्वतः चालू हो जाएँ और आवश्यक प्रणालियों को बिजली देना शुरू कर दें।
- **रिएक्टर कूलिंग सिस्टम को संचालित रखना**
  कूलिंग पंप्स, हीट एक्सचेंजर्स आदि को लगातार चलाने के लिए डीजी से मिलने वाली बिजली अनिवार्य होती है।
- **नियंत्रण और निगरानी प्रणालियों का संचालन**
  सभी सेंसर, कंट्रोल रूम के उपकरण, मॉनिटरिंग डिवाइसेस को डीजी सपोर्ट द्वारा चालू रखा जाता है।
- **संचार एवं चेतावनी प्रणाली का संचालन**
  इमरजेंसी अलार्म, पब्लिक एड्रेस सिस्टम, इंटरनल कम्युनिकेशन नेटवर्क को चलाना आवश्यक होता है ताकि किसी संकट में त्वरित कार्यवाही हो सके।

न्यूक्लियर पावर प्लांट में डीजल जनरेटर (DGs) से संबंधित घटनाएँ:

- **फुकुशिमा दुर्घटना (2011) - जापान**
  फुकुशिमा दुर्घटना में 2011 के भूकंप और सुनामी के बाद मुख्य ग्रिड से बिजली पूरी तरह कट गई। संयंत्र के डीजल जनरेटर ने तुरंत काम करना शुरू किया, लेकिन सुनामी के कारण अधिकांश DG यूनिट पानी में डूब गए। इसके चलते, बैकअप बिजली व्यवस्था पूरी तरह नष्ट हो गई। इस वजह से रिएक्टर कूलिंग सिस्टम काम करना बंद हो गया और तीन रिएक्टर में भारी नुकसान हुआ।

मुख्य सीख:

- DGs की भौतिक सुरक्षा, जैसे सुनामी या प्राकृतिक आपदा के लिए उनकी सुरक्षा, अत्यंत महत्वपूर्ण है।
- संयंत्र के डिज़ाइन में DGs को आपदा के प्रति सुरक्षित स्थान पर स्थापित करना चाहिए।

- **सेलिनोव्स्की दुर्घटना (1982) - यूएसए**
  अमेरिका के सेलिनोव्स्की न्यूक्लियर पावर प्लांट में भी DG सिस्टम में एक बार खराबी आई थी, जिससे पावर सप्लाई में बाधा आई। हालांकि, संयंत्र की सुरक्षा प्रणालियाँ सक्रिय हुईं और बड़ी दुर्घटना नहीं हुई, पर यह घटना DGs की महत्ता को दर्शाती है।

मुख्य सीख:

- DG की नियमित जांच, रख-रखाव और त्वरित सक्रियता से ही संयंत्र की सुरक्षा सुनिश्चित की जा सकती है।

DG की सुरक्षा के लिए उपयुक्त उपाय:

- **ऊँचाई पर स्थापना**
  DG को ऐसी जगह पर स्थापित करना चाहिए जो संभावित बाढ़ या पानी जमा होने की

स्थिति से ऊपर हो। इस तरह, पानी जनरेटर के इंजन, इलेक्ट्रिकल पार्ट्स और कंट्रोल सिस्टम तक नहीं पहुँच पाएगा।

- **बारियर या बाउंड्री बनाना**
  DG के चारों ओर वाटरप्रूफ बाउंड्री, जैसे कंक्रीट की दीवारें या वॉल्स बनाई जानी चाहिए, जो पानी के बहाव को रोक सकें। ये barriers बाढ़ या भारी बारिश के दौरान पानी को DG तक पहुँचने से रोकते हैं।
- **जल निकासी व्यवस्था**
  DG सेटअप के आस-पास अच्छा ड्रेनेज सिस्टम होना चाहिए ताकि अगर कहीं पानी जमा हो जाए तो वह जल्दी बाहर निकल जाए।
- **एयर वेंट और सिलिंग की सुरक्षा**
  DG के एयर वेंट और अन्य खुले हिस्सों पर जलरोधक कवर या फिल्टर लगाने चाहिए ताकि पानी अंदर न घुस सके।
- **नियमित निरीक्षण और रख-रखाव**
  DG की सुरक्षा प्रणाली जैसे barriers, ड्रेनेज और सीलिंग का समय-समय पर निरीक्षण किया जाना चाहिए ताकि वे अच्छी स्थिति में रहें।
  - **दैनिक या साप्ताहिक या मासिक परीक्षण:** जनरेटर को लोड पर चलाकर उसकी कार्यक्षमता जाँची जाती है।
  - **फ्यूल क्वालिटी की जाँच:** डीजल की शुद्धता और उपलब्धता सुनिश्चित करना आवश्यक होता है।
  - **स्विचिंग और स्टार्टअप प्रणाली का निरीक्षण:** स्वचालित स्टार्टिंग सिस्टम को परखा जाता है।
  - **इमरजेंसी रेस्पॉन्स ड्रिल:** पूरी प्लांट टीम को नियमित रूप से ट्रेंड किया जाता है कि DG फेल्योर या सिस्टम ट्रिप की स्थिति में क्या कदम उठाए जाएँ।

न्यूक्लियर पावर प्लांट जैसे संवेदनशील और उच्च तकनीक संस्थानों में **डीजल जनरेटर एक जीवन-रेखा** के समान कार्य करते हैं। बिजली आपूर्ति बाधित होते ही ये जनरेटर संयंत्र की महत्वपूर्ण प्रणालियों को शक्ति प्रदान करते हैं, जिससे न केवल संयंत्र की सुरक्षा बनी रहती है, बल्कि संभावित दुर्घटनाओं से जनजीवन की रक्षा भी की जाती है।

उपरोक्त दुर्घटनाओं से स्पष्ट होता है कि DGs न केवल संयंत्र की संचालन क्षमता बढ़ाते हैं, बल्कि उनकी विफलता गंभीर सुरक्षा जोखिम पैदा कर सकती है। भारत के कुछ न्यूक्लियर पावर प्लांट्स समुद्र के निकट स्थित हैं । इसमें DGs की विश्वसनीयता, सही रख-रखाव, सुरक्षा उपाय और प्राकृतिक आपदाओं से बचाव पर विशेष ध्यान देना चाहिए। न्यूक्लियर पावर प्लांट की सुरक्षा में DGs की भूमिका अनिवार्य है, और इन्हें सर्वोत्तम तकनीक के साथ सुसज्जित किया जाना चाहिए। इसलिए डीजल जनरेटर न केवल एक यांत्रिक उपकरण हैं, बल्कि वे न्यूक्लियर पावर प्लांट की सुरक्षा संरचना के अनिवार्य और अपरिहार्य स्तंभभी हैं।

******

विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा : ऊर्जा संकट का समाधान

अल्पना श्रीवास्तव, वैयक्तिक सहायक(बजट एवं लेखा)

भूमिका

मानव सभ्यता का विकास ऊर्जा की खोज और उसके उपयोग पर आधारित रहा है। जैसे-जैसे समाज आगे बढ़ा, उसकी ऊर्जा की आवश्यकता भी बढ़ती गई। प्रारंभ में मानव ने लकड़ी जलाकर ऊर्जा पाई, फिर कोयले, तेल और गैस का उपयोग शुरू हुआ। किंतु समय के साथ इन पारंपरिक साधनों की सीमाएँ सामने आईं–वे प्रदूषण फैलाते हैं, सीमित हैं और लगातार घटते जा रहे हैं। मानव सभ्यता के विकास की गाथा ऊर्जा की खोज और उसके उपयोग पर आधारित है। ऊर्जा ही वह आधार है, जिससे उद्योग चलते हैं, खेत सींचे जाते हैं, घर जगमगाते हैं और आधुनिक जीवन गति पाता है। बीसवीं शताब्दी में जब वैज्ञानिकों ने परमाणु के नाभिक में

छिपी अपार शक्ति को खोजा, तब संसार के सामने ऊर्जा का एक नया स्रोत प्रकट हुआ–**परमाणु ऊर्जा**। विद्युत क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा का योगदान विशेष महत्व रखता है, क्योंकि बिजली आधुनिक जीवन की रीढ़ है। घर, उद्योग, कृषि, संचार, स्वास्थ्य, परिवहन–हर क्षेत्र बिजली पर निर्भर है। यदि बिजली का उत्पादन पर्यावरण को नुकसान पहुँचाए बिना, निरंतर और बड़ी मात्रा में किया जा सके, तो यह किसी भी देश के विकास का आधार बन सकता है। परमाणु ऊर्जा इस लक्ष्य को पूरा करने की एक सशक्त संभावना है।

परंतु प्रश्न यह उठता है कि यह शक्ति मानवता के लिए वरदान है या अभिशाप? एक ओर यह असीम ऊर्जा का भंडार है, तो दूसरी ओर इसके दुरुपयोग से विनाशकारी परिणाम सामने आते हैं।

ऐसे समय में परमाणु ऊर्जा का आविष्कार और उसका प्रयोग मानवता के लिए एक नया युग लेकर तो आया है परंतु हमें बड़ी सावधानी और समझदारी के साथ इसका उपयोग करना होगा।

परमाणु ऊर्जा का स्वरूप

परमाणु ऊर्जा वह शक्ति है जो परमाणु के नाभिक से प्राप्त होती है। जब भारी परमाणु जैसे यूरेनियम का विखंडन किया जाता है, तो उससे अत्यधिक

ऊष्मा निकलती है। इस ऊष्मा का उपयोग भाप बनाने और फिर टरबाइन घुमाकर बिजली उत्पन्न करने में किया जाता है।इस प्रक्रिया की सबसे बड़ी विशेषता यह है कि बहुत कम मात्रा में ईंधन से असाधारण ऊर्जा प्राप्त होती है। जहाँ कोयले से ढेरों टन जलाकर जितनी बिजली बनती है, वही बिजली थोड़े से यूरेनियम से संभव हो जाती है। यही इसकी शक्ति है।

विद्युत क्षेत्र में इसका महत्व

बिजली उत्पादन के क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा कई दृष्टियों से उपयोगी है।

1. **विश्वसनीय स्रोत-** यह निरंतर और स्थिर आपूर्ति देने वाला एक विश्वसनीय स्रोत है। अन्य नवीकरणीय साधन जैसे सौर और पवन ऊर्जा मौसम पर निर्भर रहते हैं, जबकि परमाणु ऊर्जा चौबीसों घंटे बिजली दे सकती है।
2. **स्वच्छ ऊर्जा-** जीवाश्म ईंधन से निकलने वाला धुआँ, कार्बन डाइऑक्साइड और अन्य गैसें वायुमंडल को प्रदूषित करती हैं और जलवायु परिवर्तन को बढ़ावा देती हैं। इसके विपरीत, परमाणु ऊर्जा से ग्रीनहाउस गैसें लगभग नहीं निकलतीं है।
3. **ऊर्जा सुरक्षा-** यह किसी भी राष्ट्र को आत्मनिर्भर बना सकती है। यदि कोई देश अपनी परमाणु तकनीक विकसित कर ले, तो उसे लगातार आयातित तेल या गैस पर निर्भर नहीं रहना पड़ेगा।
4. **आर्थिक विकास का आधार-** उद्योग, कृषि, सूचना-प्रौद्योगिकी, शिक्षा और चिकित्सा सभी बिजली पर आधारित हैं। स्थिर और सस्ती बिजली उपलब्ध होने से समाज का हर क्षेत्र प्रगति करता है।

परमाणु ऊर्जा के लाभ

1. अल्प संसाधन में अपार ऊर्जा

परमाणु ऊर्जा की सबसे बड़ी विशेषता इसका उच्च ऊर्जा घनत्व है। बहुत थोड़ी-सी मात्रा में ईंधन (जैसे यूरेनियम) से अपार शक्ति प्राप्त होती है। जहाँ कोयला या तेल के हजारों टन जलाने से जितनी ऊर्जा बनती है, उतनी ही ऊर्जा कुछ किलो परमाणु ईंधन से मिल जाती है। इसका अर्थ यह है कि प्राकृतिक संसाधनों की बचत होती है और हमें बड़े-बड़े भंडार की आवश्यकता नहीं पड़ती। इससे न केवल परिवहन और भंडारण आसान होता है, बल्कि ऊर्जा उत्पादन का ढाँचा भी सस्ता और टिकाऊ बनता है।

2. पर्यावरणीय दृष्टि से अनुकूल

आज पूरी दुनिया जलवायु परिवर्तन की गंभीर समस्या से जूझ रही है। कार्बन डाइऑक्साइड,

सल्फर डाइऑक्साइड और अन्य हानिकारक गैसें जीवाश्म ईंधनों से निकलती हैं और वायु प्रदूषण तथा ग्लोबल वार्मिंग को बढ़ाती हैं। परमाणु ऊर्जा का सबसे बड़ा लाभ यह है कि यह लगभग प्रदूषण-मुक्त है। परमाणु संयंत्रों से ग्रीनहाउस गैसों का उत्सर्जन नगण्य होता है। इस कारण इसे **स्वच्छ ऊर्जा का स्रोत** कहा जाता है। यदि विश्व स्तर पर परमाणु ऊर्जा को बढ़ावा दिया जाए, तो जलवायु परिवर्तन जैसी चुनौतियों से निपटने में बड़ी मदद मिल सकती है।

3. दीर्घकालिक समाधान

ऊर्जा की समस्या केवल वर्तमान की नहीं, बल्कि भविष्य की भी है। आने वाली पीढ़ियों के लिए भी सुरक्षित और स्थायी ऊर्जा स्रोत आवश्यक हैं। परमाणु ऊर्जा का ढाँचा इस दृष्टि से उपयुक्त है कि यदि इसका सही प्रबंधन हो और तकनीकी सुधार लगातार किए जाते रहें, तो यह सदियों तक ऊर्जा की जरूरतों को पूरा कर सकती है। इसके अलावा, थोरियम और संलयन तकनीक पर चल रहे शोध से यह संभावना और भी प्रबल हो जाती है कि परमाणु ऊर्जा भविष्य में असीमित ऊर्जा का स्रोत सिद्ध होगी।

4. समान विकास का अवसर

आज भी कई छोटे और दूरस्थ क्षेत्र बिजली की कमी से जूझ रहे हैं। वहाँ उद्योग नहीं पनप पाते, शिक्षा और स्वास्थ्य सेवाएँ पिछड़ी रहती हैं और लोगों का जीवन स्तर नीचे रह जाता है। यदि उन इलाकों में छोटे परमाणु संयंत्र स्थापित किए जाएँ, तो वहाँ स्थायी और निरंतर बिजली उपलब्ध हो सकती है। इससे ग्रामीण और शहरी क्षेत्रों के बीच विकास का अंतर घटेगा और समान रूप से समृद्धि का मार्ग प्रशस्त होगा।

चुनौतियाँ और समस्याएँ

यद्यपि परमाणु ऊर्जा के लाभ अनेक हैं, फिर भी कुछ चुनौतियाँ इसके मार्ग में बाधा डालती हैं।

यह एक ऐसी दो धारी तलवार है जिसके एक ओर विकास है और दूसरी ओर विनाश।

1. **सुरक्षा की चिंता**
   परमाणु संयंत्रों में दुर्घटना होने पर भारी नुकसान हो सकता है। रेडियोधर्मी विकिरण मानव जीवन और पर्यावरण दोनों के लिए घातक है।
2. **कचरे का प्रबंधन**
   परमाणु संयंत्रों से निकलने वाला अपशिष्ट हजारों वर्षों तक सक्रिय और हानिकारक बना रहता है। इसे सुरक्षित ढंग से निपटाना सबसे बड़ी समस्या है।
3. **उच्च लागत और लंबा समय**
   परमाणु ऊर्जा संयंत्र बनाने में वर्षों लग जाते हैं और अरबों रुपये खर्च होते हैं। छोटे और गरीब देशों के लिए यह भारी बोझ बन सकता है।
4. **जनता का विरोध**
   स्थानीय लोग अक्सर डरते हैं कि कहीं दुर्घटना न हो जाए या उनका विस्थापन न हो। इस कारण कई जगह परमाणु परियोजनाओं का विरोध होता है।
5. **तकनीकी निर्भरता**
   परमाणु तकनीक बहुत जटिल है। कई देशों को इसे अपनाने के लिए अन्य विकसित राष्ट्रों पर निर्भर रहना पड़ता है।

भारत और परमाणु ऊर्जा

भारत जैसे विशाल और तेजी से विकसित हो रहे देश के लिए बिजली की निरंतर आवश्यकता है। कोयले और तेल पर आधारित बिजली से न केवल प्रदूषण बढ़ता है, बल्कि विदेशी निर्भरता भी। ऐसे में परमाणु ऊर्जा भारत के लिए विशेष महत्व रखती है।

भारत ने स्वतंत्रता के बाद से ही परमाणु ऊर्जा कार्यक्रम पर काम किया है। आज देश में अनेक परमाणु संयंत्र कार्यरत हैं और कई निर्माणाधीन हैं। भारत के वैज्ञानिक लंबे समय से थोरियम पर आधारित तकनीक पर शोध कर रहे हैं, क्योंकि हमारे पास थोरियम के भंडार प्रचुर मात्रा में हैं। यदि यह तकनीक सफल हो जाती है, तो भारत आत्मनिर्भर बन सकता है।

भविष्य की संभावनाएँ

1. स्वच्छ ऊर्जा की ओर अग्रसर

भविष्य में जब वैश्विक तापमान, प्रदूषण और जलवायु परिवर्तन जैसी चुनौतियाँ और गंभीर होंगी,

तब परमाणु ऊर्जा सबसे सुरक्षित विकल्प के रूप में सामने आएगी। जीवाश्म ईंधनों के स्थान पर यदि परमाणु ऊर्जा को प्राथमिकता दी जाए, तो न केवल कार्बन डाइऑक्साइड उत्सर्जन घटेगा, बल्कि धरती को स्वच्छ और संतुलित रखने में भी मदद मिलेगी। आने वाली पीढ़ियाँ परमाणु ऊर्जा को पर्यावरण हितैषी साधन के रूप में अपनाएँगी।

2. तेल और गैस पर निर्भरता में कमी

आज अधिकांश देश कच्चे तेल और प्राकृतिक गैस के आयात पर निर्भर हैं। यह निर्भरता केवल आर्थिक बोझ ही नहीं डालती, बल्कि राजनीतिक और रणनीतिक चुनौतियाँ भी उत्पन्न करती है। भविष्य में परमाणु ऊर्जा इन निर्भरताओं को कम करेगी। जब छोटे और मध्यम स्तर के परमाणु संयंत्र दुनिया भर में स्थापित होंगे, तब हर देश अपनी ऊर्जा ज़रूरतें स्थानीय स्तर पर पूरी कर सकेगा और ऊर्जा आत्मनिर्भरता हासिल करेगा।

3. उद्योगों के लिए सस्ती और निरंतर बिजली

आधुनिक उद्योगों को 24 घंटे निरंतर बिजली चाहिए। सौर और पवन जैसी नवीकरणीय ऊर्जा स्रोत मौसम पर निर्भर रहते हैं, इसलिए वे हमेशा भरोसेमंद नहीं हो पाते। लेकिन परमाणु ऊर्जा संयंत्र चौबीसों घंटे समान क्षमता से बिजली उत्पादन करते हैं। भविष्य में जब तकनीक और अधिक सस्ती और सुरक्षित होगी, तब उद्योगों को सस्ती और निरंतर बिजली आसानी से उपलब्ध होगी। इससे औद्योगिक उत्पादन में वृद्धि होगी और आर्थिक विकास को गति मिलेगी।

4. शिक्षा और स्वास्थ्य क्षेत्र में सुधार

भविष्य का समाज ज्ञान और स्वास्थ्य पर आधारित होगा। छोटे-छोटे कस्बों और गाँवों में स्कूल, कॉलेज, अस्पताल और शोध केंद्र तभी फल-फूल सकते हैं, जब उन्हें निर्बाध बिजली मिलती रहे। परमाणु ऊर्जा इस दिशा में सबसे सशक्त आधार बनेगी। स्वास्थ्य क्षेत्र में जहाँ परमाणु प्रौद्योगिकी से कैंसर जैसी गंभीर बीमारियों का उपचार संभव होगा, वहीं शिक्षा और अनुसंधान केंद्रों में आधुनिक उपकरणों और इंटरनेट जैसी सुविधाओं का संचालन सुचारु रूप से हो सकेगा।

5. ग्रामीण और शहरी अंतर को पाटने का साधन

आज भारत सहित कई देशों में ग्रामीण और शहरी जीवन के बीच बड़ा अंतर है। शहरों में बिजली की उपलब्धता अधिक है, जबकि गाँवों में अब भी अंधकार छाया रहता है। भविष्य में यदि छोटे स्तर के परमाणु संयंत्र गाँवों और कस्बों में स्थापित किए जाएँ, तो वहाँ न केवल बिजली पहुँचेगी बल्कि कृषि, लघु उद्योग और शिक्षा को भी नई गति मिलेगी। इस तरह परमाणु ऊर्जा सामाजिक और आर्थिक असमानता को कम करने में बड़ी भूमिका निभाएगी।

6. नई तकनीक और अनुसंधान का विस्तार

भविष्य में परमाणु संलयन (Nuclear Fusion) जैसी उन्नत तकनीकें ऊर्जा उत्पादन को पूरी तरह बदल देंगी। संलयन ऊर्जा सूर्य की तरह असीमित और सुरक्षित होगी। यदि यह तकनीक सफलतापूर्वक विकसित हो गई, तो मानव सभ्यता को कभी भी ऊर्जा संकट का सामना नहीं करना पड़ेगा। साथ ही थोरियम जैसे ईंधन का उपयोग भारत जैसे देशों के लिए एक स्वर्णिम अवसर होगा।

साथ ही, यदि सुरक्षा और कचरा प्रबंधन की चुनौतियों पर विजय पा ली जाती है, तो यह मानव सभ्यता की सबसे बड़ी उपलब्धि साबित हो सकती है।

परमाणु ऊर्जा एक स्थायी आधार

अंधकार में डूबा संसार,ऊर्जा का खोजे एक स्थायी आधार।

कोयला, तेल हुए कमज़ोर,प्रकृति बोली - अब ढूंढो कुछ और।

काकरापार परमाणु ऊर्जा संयंत्र, गुजरात

परमाणु ने दी है दिशा नई, विज्ञान ने खोला
उसका द्वार।
नाभिक में छिपी अपार शक्ति,बिजली बनकर
पहुँचे हर द्वार।
आओ मिलकर करें प्रतिज्ञा,ऊर्जा का हो सही
उपयोग।
भरें परमाणु की शक्ति से,नवयुग का स्वर्णिम
संयोग।

निष्कर्ष

परमाणु ऊर्जा मानव जाति की एक महान खोज है। विद्युत क्षेत्र में इसका योगदान न केवल वर्तमान की आवश्यकताओं को पूरा करता है, बल्कि भविष्य की संभावनाओं को भी सुनिश्चित करता है। यह ऊर्जा स्वच्छ है, शक्तिशाली है और दीर्घकाल तक उपयोगी रह सकती है।

हालाँकि इसके साथ कुछ जोखिम जुड़े हुए हैं, किंतु वैज्ञानिक और तकनीकी प्रगति के माध्यम से इन्हें नियंत्रित किया जा सकता है। यदि परमाणु ऊर्जा का विवेकपूर्ण, सुरक्षित और योजनाबद्ध उपयोग किया जाए, तो यह न केवल किसी देश की ऊर्जा सुरक्षा का आधार बनेगी, बल्कि संपूर्ण मानवता के सतत विकास का मार्ग भी प्रशस्त करेगी। भारत का परमाणु ऊर्जा का सफर केवल बिजली उत्पादन की कहानी नहीं है, बल्कि यह आत्मनिर्भरता, वैज्ञानिक प्रगति और वैश्विक पहचान का प्रतीक है। इतिहास गवाह है कि सीमित संसाधनों के बावजूद भारत ने विज्ञान और तकनीक की मदद से दुनिया में अपनी विशेष जगह बनाई।

यही कारण है कि कहा जा सकता है–

"परमाणु ऊर्जा आधुनिक युग की वह मशाल है, जो अंधकार मिटाकर प्रगति और समृद्धि की राह दिखाती है।"

******

परमाणु ऊर्जा : प्रगति का उज्ज्वल दीपक

पवन कुमार, वरिष्ठ कार्यकारी अभियंता, Corporate Communication (CC), Directorate-CPCC, NPCIL HQ, Mumbai-400094 **NPCIL**

परमाणु रिएक्टर से जलने वाला हर बल्ब हमें याद दिलाता है कि एक सबसे छोटा कण भी सबसे बड़े परिवर्तन की चिंगारी जगा सकता है। आज परमाणु ऊर्जा भारत की ऊर्जा प्रणाली का एक छोटा परन्तु महत्वपूर्ण हिस्सा है। आज एक तरफ राजस्थान के रेगिस्तानों में विशाल सौर पार्क चमकते हैं, तो दूसरी तरफ तमिलनाडु और गुजरात के समुद्री तटों पर पवन टर्बाइन सगर्व खड़े हैं। और सबसे अहम उन्नति के सूचक हैं परमाणु स्टेशनों के कंक्रीट गुंबद जिनके नीचे रिएक्टर दिन-रात स्वच्छ, सुरक्षित और स्थिर बिजली उत्पन्न करते हुए अनवरत प्रचालनरत हैं। आज भारत बिजली का तीसरा सबसे बड़ा उत्पादक देश है। इस ऊर्जा मिश्रण में परमाणु ऊर्जा का योगदान लगभग 3% है। भले ही यह अनुपात छोटा है, किंतु परमाणु बिजली की स्थिरता, विश्वसनीयता और न्यून-कार्बन उत्सर्जन जैसी विशेषताएँ इसे रणनीतिक रूप से महत्वपूर्ण बनाती हैं। ऊर्जा हमेशा से ही, स्वतंत्रता और संप्रभुता से जुड़ी रही है। औपनिवेशिक काल में भारत के संसाधन साम्राज्यवादी हितों के लिए उपयोग में लाए गए। स्वतंत्रता के बाद ही, भारत अपनी ऊर्जा नीतियों को स्वयं आकार प्रदान कर सका। इस संदर्भ में, परमाणु ऊर्जा केवल बिजली का स्रोत ही नहीं, बल्कि तकनीकी आत्मनिर्भरता और दीर्घकालिक ऊर्जा सुरक्षा का एक प्रतीक भी है।

ब्लूप्रिंट से उजाले तक की यात्रा :

भारत की परमाणु यात्रा का आरंभ डॉ. होमी जे. भाभा की दूरदृष्टि से हुआ। उन्हें भारत के परमाणु कार्यक्रम का जनक कहा जाता है। उन्होंने 1950 के दशक में तर्क दिया था कि भारत लंबे समय तक आयातित जीवाश्म ईंधनों पर निर्भर नहीं रह सकता। उन्होंने त्रि-चरणीय परमाणु कार्यक्रम की रूपरेखा प्रस्तुत की जिसके मूल में था– प्राकृतिक यूरेनियम से हैवी वाटर रिएक्टर (प्रथम चरण), उसके बाद फास्ट ब्रीडर रिएक्टर (द्वितीय चरण), और अंततः थोरियम का उपयोग (तृतीय चरण), जिसके विशाल भंडार भारत के पास हैं। 1974 में भारत के परमाणु परीक्षण के बाद अंतरराष्ट्रीय स्तर पर कई प्रतिबंध लगाए गए, जिससे प्रगति की गति धीमी हो गई। तकनीक तक पहुँच सीमित हो गई थी। प्रतिबंधों के कारण घरेलू उद्योग और भारतीय वैज्ञानिकों के सामने रिएक्टर बनाने की कठिन चुनौती उठ खड़ी हुई। परंतु निजी उद्योग साझेदारों के सहयोग और परमाणु वैज्ञानिकों की प्रतिबद्धता के साथ ने इस चुनौती को अवसर में बदल दिया गया, जिसके परिणामस्वरूप भारत ने स्वदेशी रिएक्टर विकसित करने में ऐतिहासिक सफलता प्राप्त की।

सुरक्षा परमाणु ऊर्जा का सबसे पहला और अटल सिद्धांत है। परमाणु ऊर्जा उत्पादन की पूरी प्रक्रिया सुरक्षा संस्कृति, उन्नत सुरक्षा प्रणालियों, सशक्त नियामक ढाँचे और प्रशिक्षित व लाइसेंस-प्राप्त जनशक्ति पर आधारित होती है। प्रत्येक रिएक्टर को कई स्तर के सुरक्षा कवच प्रदान किए जाते हैं। आधुनिक डिज़ाइन, जैसे कि पैसिव सेफ़्टी सिस्टम, किसी भी **असामान्य स्थिति** में स्वतः रिएक्टर को सुरक्षित रूप से बंद करने में सक्षम है।

परमाणु ऊर्जा अन्य परंपरागत स्रोतों की तुलना में एक स्वच्छ और विश्वसनीय ऊर्जा स्रोत है। प्रचालन के दौरान परमाणु संयंत्रों से ग्रीनहाउस गैसों का उत्सर्जन लगभग नगण्य होता है। यहाँ तक कि पूरे जीवनकाल में भी इसका पर्यावरणीय प्रभाव अन्य परंपरागत विद्युत उत्पादन स्रोतों की तुलना में बहुत कम है। इसलिए जलवायु परिवर्तन को कम करने में परमाणु ऊर्जा का योगदान अत्यंत महत्वपूर्ण है। भारत इसी सुरक्षित, स्वच्छ और सतत ऊर्जा के मार्ग पर निरंतर आगे बढ़ रहा है।

परमाणु ऊर्जा का भविष्य और भारत:

भारत ने परमाणु ऊर्जा विस्तार के लिए महत्वाकांक्षी लक्ष्य निर्धारित किए हैं। अपने परमाणु ऊर्जा मिशन के तहत, सरकार ने वर्ष 2047 तक 100 गीगावाट परमाणु ऊर्जा उत्पादन क्षमता हासिल करने का लक्ष्य घोषित किया है। यह वर्तमान स्थापित क्षमता का लगभग बारह गुना है और इसे अगले 22 वर्षों में पूरा किया जाएगा।

यह लक्ष्य-प्राप्ति, भारत की ऊर्जा सुरक्षा को मज़बूत करने, जीवाश्म ईंधन और आयात पर निर्भरता कम करने और स्वच्छ ऊर्जा में आत्मनिर्भरता की ओर बढ़ने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगी। यह सरकार के आत्मनिर्भर भारत के व्यापक दृष्टिकोण के अनुरूप भी है, जो यह सुनिश्चित करता है कि भारत अपनी बढ़ती ऊर्जा माँगों को स्वदेशी संसाधनों और प्रौद्योगिकियों के माध्यम से पूरा कर सके।

इस संदर्भ में, कई परमाणु ऊर्जा इकाइयाँ पहले से ही निर्माणाधीन हैं, जबकि कई अन्य योजनागत हैं। ये आगामी परियोजनाएँ भारत के परमाणु ऊर्जा दृष्टिकोण की ओर यात्रा की रीढ़ होंगी। वर्तमान में, 6100 मेगावाट की कुल क्षमता वाले सात परमाणु विद्युत रिएक्टर निर्माण के विभिन्न चरणों में हैं। निर्माणाधीन सात रिएक्टरों में से आरएपीपी-8 (700 मेगावाट) कमीशनिंग के अग्रिम चरण में है। वित्त वर्ष 2025-26 के दौरान आरएपीपी-8 इकाई की कमीशनिंग और प्रचालन की प्रत्याशा है। इसके अलावा, भारत सरकार द्वारा वर्ष 2017 में 1,05,000 करोड़ रुपये की लागत पर फ्लीट मोड में 700 मेगावाट प्रत्येक के 10 रिएक्टरों का प्रशासनिक अनुमोदन और वित्तीय संस्वीकृति प्रदान की गई थी जिसे 2031-32 तक उत्तरोत्तर पूरा किया जाएगा।

700 मेगावाट क्षमता वाले नए रिएक्टरों का निर्माण, थोरियम आधारित अनुसंधान और फास्ट ब्रीडर तकनीक पर कार्य निरंतर प्रगति पर है। भारत के लिए वर्ष 2070 तक नेटज़ीरो उत्सर्जन - लक्ष्य हासिल करने में परमाणु ऊर्जा का विस्तार महत्वपूर्ण भूमिका निभाएगा। सच कहा जाए तो परमाणु ऊर्जा का भविष्य और भी रोमांचक है। परमाणु ऊर्जा सीधे तौर पर संयुक्त राष्ट्र के सतत विकास लक्ष्यों (SDGs) में योगदान करती है। यह सस्ती और स्वच्छ ऊर्जा लक्ष्य (7), आर्थिक विकास लक्ष्य (8) और जलवायु कार्रवाई लक्ष्य (13) की प्राप्ति में किसी संजीवनी से कम नहीं है। इसके अतिरिक्त, यह प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष रूप से व्यापक रोज़गार के अवसरों का सृजन करती है, उद्योग और व्यवसाय के नए रास्ते खोलती है, स्थानीय अर्थव्यवस्थाओं को मज़बूत बनाती है और दीर्घकालिक सकल घरेलू उत्पाद (GDP) में वृद्धि सुनिश्चित करती है।

निष्कर्ष:

परमाणु ऊर्जा का महत्व केवल मेगावॉट में नहीं मापा जा सकता। यह न्यून-कार्बन ऊर्जा का स्थिर आधार प्रदान करती है और सतत ऊर्जा की ओर दुनिया को अग्रसर करने की मजबूत आधारशिला रखती है। निर्माणाधीन और क्रियान्वयनाधीन परियोजनाएँ इस यात्रा को और सशक्त बनाएंगी।

इसका प्रभाव केवल बिजली उत्पादन तक सीमित नहीं है, बल्कि यह सामाजिक स्थिरता, रोज़गार के अवसर और समग्र विकास की गारंटी भी है। भारत की परमाणु कहानी समावेशन और विविधता का प्रतिरूप है– जहाँ महिला वैज्ञानिक और इंजीनियर अग्रणी भूमिकाएँ निभा रही हैं, वहीं स्थानीय समुदाय जागरूकता व शिक्षा अभियानों का सक्रिय हिस्सा बनते जा रहे हैं। यह केवल तकनीक की नहीं, बल्कि लोगों और उनके सपनों की भी कहानी है। परमाणु ऊर्जा सौर, पवन और अन्य नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों के साथ मिलकर भारत के स्वच्छ ऊर्जा भविष्य की रीढ़ बन रही है। यही संतुलन भारत की **ऊर्जा सुरक्षा** सुनिश्चित करता है और जलवायु परिवर्तन से लड़ाई को मजबूत बनाता है।

परमाणु ऊर्जा भारत के उज्ज्वल भविष्य की गारंटी है– एक ऐसा वादा है, जहाँ विकास की ऊर्जा स्वच्छ, सुरक्षित और समावेशी है, और जहाँ रोशनी कभी मद्धम नहीं पड़ती।

******

भारत में परमाणु ऊर्जा (अवसर तथा चुनौतियाँ)

शिवानी, एमटीएस, बजट एवं लेखा

हाल ही में भारत ने परमाणु ऊर्जा के क्षेत्र में एक बड़ी उपलब्धि हासिल की, जहाँ गुजरात के काकरापार परमाणु ऊर्जा स्टेशन में दो स्वदेशी रूप से विकसित यूनिट-3 तथा यूनिट-4, दबाववयुक्त भारी जल रिएक्टरों (PHWRs) को पहली बार परिचालन लाइसेंस के लिए मंजूरी मिली। यह लाइसेंस भारत के परमाणु नियामक निकाय 'परमाणु ऊर्जा नियामक बोर्ड (APRB) द्वारा दिया गया। इन रिएक्टरों की क्षमता 100 मेगावाट इलैक्टिक है। इस सफलता के माध्यम से भारत ने संपूर्ण विश्व में यह सिद्ध कर दिखाया कि यह अपने परमाणु सयन्त्रों को विकसित करने में भलीभांति सक्षम है। भारत के स्वदेशी परमाणु प्रौद्योगिकी के विकास में 220 मेगावाट इलैक्टिक क्षमता वाले 15 दबाववयुक्त भारी जल रिएक्टर तथा 450 मेगावाट इलैक्ट्रिक क्षमता वाले 2 दुद्वाययुक्त भारी जल रिएक्टर पहले से ही संचालित हैं। इस परिपेक्ष में वर्तमान में 700 मेगावाट इलैक्ट्रिक क्षमता वाले रिएक्टर भारत की तकनीकि आत्मनिर्भरता का प्रतीक है। यह भविष्य में परमाणु ऊर्जा उत्पादन बढ़ाने का आधार बनेगा।

आधुनिक युग में परमाणु ऊर्जा अत्यंत महत्वपूर्ण एंव शक्तिशाली ऊर्जा स्रोत है। परमाणु ऊर्जा का उत्पादन परमाणु संलयन तथा परमाणु विखंडन दवारा किया जाता है। परमाणु संयंत्र, जो एक प्रकार का विद्युत संयंत्र है, विद्युत उत्पन्न करने के लिए परमाणु विखंडन प्रक्रिया का उपयोग करते हैं। परमाणु संयंत्र बड़ी मात्रा में विद्युत का उत्पादन कर सकते हैं। वर्ष 2025 मध्य तक भारत के 6 राज्यों में 8 परमाणु ऊर्जा सयन्नों में, 8880 मेगावाट की कुल स्थापित क्षमता वाले 25 परमाणु रिएक्टर परिचालन में थे। यह कुल उत्पादन क्षमता का लगभग 3% है। इनमें तारापुर (महाराष्ट्र), रावतभाटा (राजस्थान), काकरापार (गुजरात), कलपक्कम (तमिलनाडु), नरोरा (उत्तरप्रदेश), कैगा (कर्नाटक) तथा कुडनकुलम (तमिलनाडु) मुख्यतः शामिल हैं। भारत एकमात्र ऐसा राष्ट्र है जो ऊर्जा उत्पादन में पूर्ण रूप से विकसित परमाणु रिएक्टरों का उपयोग करता है। यह भारत के विस्तृत और वैज्ञानिक अनुसंधान तथा प्रौद्यागिकी में भाभा परमाणु अनुसंधान केन्द्र (BARC) के कई दशकों के परिश्रम का सफल परिणाम है।

भारत का परमाणु ऊर्जा अभियान कार्यक्रम तीन चरणों में विकसित हुआ जिसकी परिकल्पना डॉ. होमी जहांगीर भाभा द्वारा की गई थी। इस कार्यक्रम का उद्देश्य सीमित मात्रा में उपलब्ध यूरेनियम स्रोतों का कुशल उपयोग तथा प्रचुर मात्रा में उपलब्ध थोरियम स्रोतों का अधिकतम लाभ उठाना है।

- **प्रथम चरणः** इसका उद्देश्य विद्युत उत्पादन तथा ईंधन के रूप में यूरेनियम-238 (रेडिएशन) का इस्तेमाल कर प्लूटोनियम-239 का निर्माण करना है। वर्तमान में 18 दबावित भारी जल रिएक्टर पूर्ण रूप से संचालित हैं। प्रथम चरण का उद्देश्य 700 मेगावाट इलैक्ट्रिक है जिसे हमने लगभग प्राप्त कर लिया है।
- **द्वितीय चरणः** इसका उद्देश्य फास्ट ब्रीडर रिएक्टर द्वारा, ईंधन प्लूटोनियम-239 का उपयोग कर प्लूटोनियम-239 तथा यूरेनियम-238 का मिश्रित ऑक्साइड बनाना है। वर्तमान स्थिति के अनुसार तमिलनाडु के कलपक्कम में एक प्रोटोटाइप फास्ट ब्रीडर रिएक्टर विकसित किया गया है।
- **तृतीय चरण:** इसका उद्देश्य थोरियम-232 ईंधन का उपयोग कर यूरेनियम-233 का निर्माण करना है जिसका अनुसंधान एवं विकास जारी है।

भारत में थोरियम भंडार की उपलब्धता परमाणु ऊर्जा को भारत की ऊर्जा आवश्यकताओं की पूर्ति के लिए आशाजनक समाधान के रूप में प्रस्तुत करती है। थोरियम को भविष्य का ईंधन माना जाता है और भारत योरियम संसाधनों में अग्रणी देश है। इससे भारत को जीवाश्म ईंधन मुक्त राष्ट्र बनने में बड़ा बल मिलेगा। साथ ही भारत को इसके उपयोग से, सालाना होने वाले कई बिलियन डॉलरों के आयात व्ययों को कम करने में भी सहायता मिलेगी।

भविष्य की ज़रूरतों तथा जीवाश्म इधनों जैसे कोयला, तेल तथा प्राकृतिक गैस आदि की सीमितता को देखेत हुए उर्जा उत्पादन क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा एक उत्तम वैकल्पिक स्रोत है। चिकित्सा के क्षेत्र में कैंसर जैसी बीमारी के इलाज में, उद्योगों, कृषि, खाद्य संरक्षण, अनुसंधान तथा बीज सुधार में भी परमाणु ऊर्जा का महत्वपूर्ण योगदान है। परमाणु ऊर्जा के उपयोग से कम मात्रा में ईंधन से अधिक ऊर्जा का उत्पादन कर सकते हैं। इसे स्वच्छ ऊर्जा का स्रोत भी माना जाता है, क्योंकि यह बिजली उत्पादन के दौरान वातावरण में लगभग शून्य ग्रीनहाउस गैस का उत्सर्जन करती है। अतः यह स्थिर ऊर्जा का माध्यम है। यह जीवाश्म ईंधनों से उत्पन्न होने वाले प्रदूषकों का उत्पादन नहीं करती जो पर्यावरण के लिए हानिकारक हैं। इसके उपयोग से स्वास्थ्य संबंधी समस्याओं जैसे अस्थमा आदि को कम करने में भी मदद मिलती है। अनके नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों के विपरित, परमाणु ऊर्जा से 24 घंटे बिजली उत्पन्न की जा सकती है। यह पवन ऊर्जा और सौर ऊर्जा की तुलना में मौसम पर निर्भर नहीं करती तथा ऊर्जा की मांग को पूरा करने के लिए आसानी से उपलब्ध है। इसके अलावा परमाणु ऊर्जा संयंत्रों के निर्माण और संचालन से नए रोज़गार अवसरों का भी सृजन होता है।

ऊर्जा आवश्यकताओं को ध्यान में रखते हुए भारत सरकार ने 2032 तक लगभग 22.5 गीगावाट इलैक्ट्रिक ऊर्जा उत्पादन का लक्ष्य रखा है, जो अल्पकालिक ऊर्जा आपूर्ति की दिशा में महत्वपूर्ण कदम होगा। साथ ही 2025-26 के बजट में, वर्ष 2047 तक 100 गीगावाट परमाणु ऊर्जा क्षमता तक पहुंचे का महत्वकांक्षी लक्ष्य रखा गया है जो वर्तमान में 8800 मेगावाट इलैक्टिक क्षमता से उल्लेखनीय वृद्धि है। भारत को इस लक्ष्य को प्राप्त करने के लिए निजी भागीदारी के साथ-साथ विदेशी भागीदारी की भी आवश्यकता होगी। परमाणु ऊर्जा क्षेत्र पूर्ण रूप से भारत सरकार के नियंत्रण में है, जिस विदेशी प्रत्यक्ष निवेश के माध्यम से उत्तरोत्तर 49% तक बढ़ाने पर विचार किया जा रहा है।

परंतु जहां एक ओर ऊर्जा के स्रोत के रूप में परमाणु ऊर्जा पर निर्भरता अनेकों लाभ के अवसर प्रदान करती है, दूसरी ओर हमें इसके उपयोग में शामिल कई चुनौतियों पर भी गहन चिंतन की आवश्यकता है। है। इन चुनौतियों में परमाणु दुर्घटनाएँ शीर्ष पर है। उदाहरण के लिए, चर्नोबिल परमाणु दुर्घटना (1986), जो यूक्रेन में स्थित चर्नोबिल परमाणु ऊर्जा संयंत्र के चौथे रिएक्टर में एक सुरक्षा परीक्षण के दौरान हुई थी। इस दुर्घटना में अत्यधिक मात्रा में वायुमंडल में रेडियोधर्मी पदार्थों का उत्सर्जन हुआ। इस कारण पर्यावरण को भारी नुकसान हुआ तथा बड़े पैमाने पर लोग विस्थापित हुए। इसके बाद में अनेक स्वास्थ्य संबंधी समस्याओं में भी वृद्धि हुई।

इसके अलावा जापान के फुकुशिमा दाइची (2011) तथा अमेरिका के थ्री माईल आईलैंड (1979) जैसी नाभिकीय एवं विकिरण दुर्घटनाओं का पर्यावरण तथा लोगों पर उल्लेखनीय प्रभाव पड़ा। परमाणु ऊर्जा के उत्पादन में रेडियोधर्मी भाप के आकस्मिक उत्सर्जन की घटनाएं भी चिंताएं और भय पैदा करती है। परमाणु तकनीक के दुरुपयोग से परमाणु हथियारों के प्रसार का खतरा भी बढ़ता है। इसके साथ ही रेडियोधर्मी कचरे का निपटान भी बड़ी समस्या है जिसके लिए कोई निश्चित और सुरक्षित दीर्घकालिक समाधान अभी तक पूरी तरह विकसित नहीं हुआ है। एक परमाणु संयंत्र का जीवनकाल उसकी वित्तीय व्यवहार्यता पर निर्भर करता है। इसमें परिचालन व्यय, रखरखाव तथा इसे बंद करने की लागत भी शामिल है। तुलनात्मक रूप से, दबावयुक्त भारी जल रिएक्टरों की प्रति मेगावाट लागत कोयला संयंत्रों की तुलना में अधिक है।

अर्थात् हम यह निष्कर्षित कर सकते हैं," हालांकि परमाणु ऊर्जा हमारी ऊर्जा आवश्यकता को अवश्य ही पूरा कर सकती है, बशर्ते इसका इस्तेमाल सुरक्षित एंव नियंत्रित रूप से तथा सुरक्षा मानकों को ध्यान में रख कर किया जाए। अतः भारत को एक संतुलित दृष्टिकोण अपनाना चाहिए जो इस क्षेत्र की चुनौतियों और अवसरों को संबोधित करता है। इसके साथ ही दीर्घकालिक परिप्रेक्ष्य में एक विश्वसनीय ऊर्जा स्रोत के रूप में इसके अवसरों की ओर हमारा सकारात्मक मत स्थापित करते हैं। इस दिशा में 100 गीगवाट परमाणु ऊर्जा क्षमता तक पहुंचने का यह लक्ष्य 2047 तक विकसित भारत तथा 2070 तक शुद्ध शून्य उत्सर्जन के लिए देश के दृष्टिकोण का समर्थन करता है।"

******

परमाणु ऊर्जा मिशन एवं स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMRs)

नितिन देसवाल, उप निदेशक, पीएसपीए-I प्रभाग, केविप्रा

हाल ही में, केंद्रीय वित्त मंत्री ने एक समर्पित परमाणु ऊर्जा मिशन शुरू करने की घोषणा की। यह केंद्रीय बजट 2025-26 में 20,000 करोड़ रुपये के आवंटन के साथ परमाणु ऊर्जा क्षेत्रक का विस्तार करने की दिशा में सबसे बड़े कदमों में से एक है। मिशन का मुख्य लक्ष्य 2047 तक 100 गीगावाट परमाणु ऊर्जा क्षमता हासिल करना है। यह भारत की दीर्घकालिक एनर्जी ट्रांजीशन स्ट्रेटेजी और "विकसित भारत" संबंधी व्यापक दृष्टिकोण के अनुरूप है और 2070 तक नेट ज़ीरो के लक्ष्य को प्राप्त करने में महत्वपूर्ण योगदान देगा। कम से कम कार्बन उत्सर्जन के साथ परमाणु ऊर्जा से बिजली उत्पादन को बढ़ाना और बेस लोड आवश्यकता को पूरा करना है, जो वर्तमान में जीवाश्म ईंधन आधारित बिजली संयंत्रों द्वारा समर्थित है, इसकी मुख्य विशेषता है। परमाणु ऊर्जा मिशन में ग्रीन फील्ड्स, ब्राउन फील्ड्स, कैप्टिव संयंत्रों के रूप में तथा दूरस्थ स्थानों पर ऑफ-ग्रिड अनुप्रयोगों के लिए बड़े तथा छोटे परमाणु ऊर्जा संयंत्रों की स्थापना की परिकल्पना की गई है। इस पहल का उद्देश्य निजी क्षेत्र के साथ सक्रिय भागीदारी, लघु मॉड्यूलर रिएक्टरों (एसएमआर) का अनुसंधान एवं विकास और नई उन्नत तकनीकों के लिए सक्षम उपाय करना है।

स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMRs)

स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर (SMRs) पारंपरिक रिएक्टर की तुलना में उन्नत परमाणु रिएक्टर हैं। इनकी बिजली उत्पादन क्षमता 300 मेगावाट (MWe) प्रति यूनिट तक होती है, जो पारंपरिक परमाणु ऊर्जा रिएक्टरों की उत्पादन क्षमता का लगभग एक-तिहाई है।

- स्मॉल: भौतिक रूप से इनका आकार पारंपरिक परमाणु ऊर्जा रिएक्टर की तुलना में काफी छोटा होता है।
- मॉड्यूलर: इसकी प्रणालियों और घटकों को कारखाने में असेंबल किया जा सकता है और एक इकाई के रूप में किसी भी स्थान पर स्थापित करने के लिए भेजा जा सकता है।
- रिएक्टर: परमाणु विखंडन द्वारा ऊष्मा उत्पन्न करके ऊर्जा का उत्पादन किया जाता है।

एसएमआर की अवधारणा इस प्रकार तैयार की गई है कि उनके सिस्टम, संरचना और घटक (एसएससी) नियंत्रित फ़ैक्टरी वातावरण में निर्मित किए जाते हैं और फिर परियोजना स्थल पर पहुँचाए जाते हैं और एसएमआर परियोजना के समय और लागत को अनुकूलित करने के उद्देश्य से स्थापित किए जाते हैं। इनमें आपातकालीन योजना क्षेत्र (ईपीज़ेड) के कम आकार और निष्क्रिय सुरक्षा प्रणाली जैसे संभावित परिनियोजन लाभ हैं। बंद हो चुके जीवाश्म ईंधन से चलने वाले बिजलीघरों के पुनर्प्रयोजन के लिए एसएमआर पर विचार किया जा सकता है। जहाँ कुछ एसएमआर डिज़ाइनों में हर तीन से सात वर्षों में ईंधन भरने की आवश्यकता होती है, वहीं कुछ में 30 वर्षों की ईंधन-मुक्त परिचालन जीवन प्रत्याशा होती है। अन्य लाभों में छोटा संयंत्र क्षेत्र, ऐसे स्थानों पर एसएमआर संयंत्रों

की स्थापना की संभावना शामिल है जहाँ बड़े आकार के रिएक्टरों का निर्माण संभव नहीं है और बाद में और मॉड्यूल जोड़कर बिजली संयंत्र की क्षमता को धीरे-धीरे बढ़ाने की व्यवहार्यता शामिल है। एसएमआर के मामले में, प्रति रिएक्टर पूंजी निवेश कम होता है, लेकिन शुरुआत में प्रति मेगावाट पूंजी निवेश एलआर की तुलना में अधिक हो सकता है।

विश्व में कई एसएमआर डिज़ाइन विकसित किए जा रहे हैं और ये डिज़ाइन विभिन्न प्रकार की पावर आउटपुट देने में सक्षम है और विभिन्न अंतिम उपयोगों को पूरा करने का लक्ष्य रखते हैं, जिनमे से कुछ इस प्रकार है :

- भूमि आधारित जल-शीतित एसएमआर: इस श्रेणी के एसएमआर में जल-शीतित एसएमआर डिज़ाइन शामिल हैं जिनमें भूमि पर उपयोग के लिए हल्के जल रिएक्टर (एलडब्ल्यूआर) और दाबयुक्त भारी जल रिएक्टर (पीएचडब्ल्यूआर) तकनीकों (एकीकृत दाबयुक्त जल रिएक्टर (पीडब्ल्यूआर) और पीएचडब्ल्यूआर, कॉम्पैक्ट पीडब्ल्यूआर, लूप-प्रकार पीडब्ल्यूआर, क्वथनांक जल रिएक्टर (बीडब्ल्यूआर) और पूल प्रकार पीडब्ल्यूआर) के विभिन्न विन्यास होते हैं।
- समुद्र आधारित जल-शीतित एसएमआर: इस श्रेणी के एसएमआर में समुद्री वातावरण में तैनाती के लिए जल-शीतित एसएमआर डिज़ाइन शामिल हैं। इसे बजरों या जहाजों पर स्थापित तैरती इकाइयों के रूप में प्राप्त किया जा सकता है।
- उच्च-तापमान गैस-शीतित एसएमआर (एचटीजीआर): इस श्रेणी के एसएमआर 750 डिग्री सेल्सियस से भी अधिक तापमान वाली ऊष्मा प्रदान कर सकते हैं और इस प्रकार विद्युत उत्पादन में उच्च दक्षता प्राप्त कर सकते हैं। इन एसएमआर का उपयोग कई औद्योगिक अनुप्रयोगों के साथ-साथ सह-उत्पादन में भी किया जा सकता है।
- द्रव धातु-शीतित तीव्र न्यूट्रॉन स्पेक्ट्रम एसएमआर (एलएमएफआर): इस श्रेणी के एसएमआर में तीव्र न्यूट्रॉन तकनीक पर आधारित डिज़ाइन शामिल हैं, जिनमें हीलियम गैस और सोडियम, लेड और लेड-बिस्मथ जैसे द्रव धातु शीतलक सहित विभिन्न शीतलक विकल्प शामिल हैं।
- मौल्टन साल्ट रिएक्टर एसएमआर (एमएसआर): इस श्रेणी के एसएमआर शीतलक की भूमिका में पिघले हुए फ्लोराइड या क्लोराइड लवण पर आधारित होते हैं। थर्मल न्यूट्रॉन और फ़ास्ट न्यूट्रॉन स्पेक्ट्रम, दोनों के लिए एमएसआर डिज़ाइन विकासाधीन हैं। ये तकनीकें कई वर्षों के लंबे ईंधन चक्रों को बनाए रख सकती हैं, और इनमें ऑनलाइन ईंधन भरने का विकल्प भी है जिसमें पिघले हुए रूप में ताज़ा ईंधन डाला जा सकता है और विखंडन उत्पादों की सफाई भी ऑनलाइन की जा सकती है।
- माइक्रोरिएक्टर (एमआर): एमआर बहुत छोटे एसएमआर होते हैं जिन्हें आमतौर पर 10 मेगावाट (ई) तक की विद्युत शक्ति उत्पन्न

करने के लिए डिज़ाइन किया गया है। माइक्रोरिएक्टर विभिन्न प्रकार के शीतलक, जैसे हल्का पानी, हीलियम, पिघला हुआ नमक और तरल धातु का उपयोग करते हैं।

SMR परमाणु ऊर्जा का महत्व

- कॉम्पैक्ट आर्किटेक्चर और पैसिव सेफ्टी: इसमें दुर्घटनाओं का शमन करने के लिए एक्टिव सेफ्टी सिस्टम्स और अतिरिक्त पंपों सहित AC पावर पर निर्भरता कम हो जाती है। डिजाइन में पैसिव कूलिंग सिस्टम्स शामिल होने से आपात स्थितियों के दौरान बाह्य स्रोत से बिजली लेने की आवश्यकता समाप्त हो जाती है।
- उपयोग के मामले में सहूलियत: SMRs का उपयोग विविध क्षेत्रों, जैसे- बिजली उत्पादन, औद्योगिक ताप आपूर्ति (विभिन्न औद्योगिक प्रक्रियाओं के लिए ऊष्मा की आवश्यकता) और विलवणीकरण के लिए किया जा सकता है।
- फैक्टरी निर्माण के लिए मॉड्यूलरिटी: SMRs के प्रमुख घटक फैक्टरी में बने होते हैं, जिससे उच्च गुणवत्ता मानक सुनिश्चित होते हैं और निर्माण संबंधी समय तथा लागत में कमी आती है। SMRs संयंत्र को कारखाने में मॉड्यूल्स के रूप में असेम्बल किया जा सकता है और साइट पर ले जाकर इंस्टॉल किया जा सकता है। इस तरह मॉड्यूलर होने के कारण, इनके निर्माण के लिए बहुत अधिक जगह की ज़रूरत नहीं पड़ती।
- सब-ग्रेड (भूमिगत या पानी के नीचे) इंस्टॉलेशन की संभावना: यह रिएक्टर यूनिट को प्राकृतिक (जैसे- भूकंप या सुनामी) या मानव निर्मित खतरों से अधिक सुरक्षा प्रदान करती है।
- स्केलेबिलिटी: मॉड्यूलर डिजाइन और छोटे आकार के चलते एक ही स्थान पर इनकी कई इकाइयों को स्थापित किया जा सकता है।
- पोर्टेबिलिटी: इनका जीवनकाल समाप्त होने पर रिएक्टर मॉड्यूल को यथास्थान पर बंद किया जा सकता है या आसानी से हटाया जा सकता है।

एसएमआर उद्योग के लिए चुनौतियाँ

चूँकि एसएमआर की क्षमता आकार की एक बहुत विस्तृत श्रृंखला है, जो 30 मेगावाट(ई) से कम से लेकर 300+ मेगावाट(ई) तक है, इसलिए, वर्तमान में बड़ी संख्या में एसएमआर प्रौद्योगिकी विकल्प विकसित हो रहे हैं, जो एसएमआर उद्योग के निरंतर विकास के लिए बहुत अधिक हैं। यदि एक ही समय में बड़ी संख्या में प्रौद्योगिकियों को अपनाया जाता है, तो न केवल परमाणु उद्योग के लिए नियामक चुनौतियाँ पैदा हो सकती हैं, बल्कि लागत अनुकूलन की कुछ हद तक बाधा भी पड़ सकती है। विकल्पों को कुछ एसएमआर डिज़ाइनों तक सीमित करना होगा। इसके अलावा, उपलब्ध एसएमआर डिज़ाइनों के प्रौद्योगिकी तत्परता स्तर (टीआरएल) में सुधार होना चाहिए ताकि उपयोगिताओं, निवेशकों और सरकारों द्वारा उन्हें लागू करने पर विचार किया जा सके। एसएमआर उद्योग को अभी तक एसएमआर घटकों के बड़े पैमाने पर क्रमिक निर्माण के लिए पूरी तरह से विकसित परिचालन निर्माण सुविधा का एहसास नहीं हुआ है। ऐसी सुविधा के लिए बहुत बड़े निवेश की आवश्यकता हो सकती है। प्रौद्योगिकी डेवलपर्स के सामने प्रौद्योगिकी विकास, लाइसेंसिंग और प्रोटोटाइप संयंत्रों के निर्माण के लिए वित्त जुटाने में चुनौतियाँ हैं। इसके अलावा, निजी पूंजी का निवेश एसएमआर उद्योग में बहुत कम होता है, और वह भी आवश्यक स्तर तक नहीं। परमाणु सामग्री (एनएम) की प्राप्ति के समय, नवीन तकनीक के लिए एक मज़बूत सुरक्षा उपाय लागू करने की भी आवश्यकता है।

आगे की राह

एसएमआर के विकास का मुख्य उद्देश्य एक मानकीकृत छोटे आकार के रिएक्टर की कल्पना, डिज़ाइन, विवरण और कार्यान्वयन करना है, जिसमें आधुनिक उद्योग के उपकरणों और तकनीकों के कुशल उपयोग के साथ एक कारखाने के बेहतर गुणवत्ता-नियंत्रित वातावरण में बार-बार निर्माण की संभावना हो। इसे पर्याप्त रूप से दीर्घकालिक आधार पर प्राप्त करने के बाद, उत्पादन लागत को कम करने के लिए क्रमिक उत्पादन के मूल्य और अर्थशास्त्र की शिक्षा शुरू की जा सकती है। वर्तमान

में, एसएमआर उद्योग एक विकासात्मक चरण में है जिसमें एसएमआर प्रौद्योगिकी विकास, एसएमआर मॉड्यूल का प्रोटोटाइप, लागत अनुकूलन और नियामक मंजूरी जैसी गतिविधियाँ शामिल हैं। एसएमआर उद्योग को प्रौद्योगिकी प्रदर्शन, विशेष सामग्री की उपलब्धता, विशेष विनिर्माण तकनीकों, परियोजना वित्तपोषण आवश्यकताओं और नियामक सामंजस्य जैसी शुरुआती चुनौतियों से पार पाने की आवश्यकता है। ऐसी चुनौतियों और दीर्घकालिक नेट-ज़ीरो लक्ष्यों को प्राप्त करने के लिए एसएमआर उद्योग को विकसित करने की आवश्यकता को देखते हुए, एसएमआर पारिस्थितिकी तंत्र स्थापित करना आवश्यक है।

घटकों और मॉड्यूल के डिज़ाइनों के मानकीकरण से बड़े पैमाने पर एसएमआर को अपनाना आसान होगा। बहु-मॉड्यूल डिज़ाइनों और एसएमआर के आपातकालीन नियोजन क्षेत्रों की अवधारणा के लिए मौजूदा सुरक्षा मूल्यांकन पद्धति को अद्यतन किया जाना चाहिए। निजी निवेश को उत्प्रेरित करने के लिए कम लागत वाले वित्त की उपलब्धता, हरित वर्गीकरण में समावेश और मिश्रित वित्त, हरित बांड आदि जैसे नवीन वित्तपोषण साधनों का उपयोग आवश्यक है। बहु-मॉड्यूल संयंत्रों के लिए इंजीनियरिंग, डिज़ाइन, परीक्षण, निरीक्षण, निर्माण, स्थापना और कमीशनिंग की मूल्य श्रृंखला में आवश्यक कुशल कर्मियों की उपलब्धता सुनिश्चित करने पर भी अधिक ध्यान दिया जाना चाहिए।

रणनीतिक साझेदारियाँ सफल प्रौद्योगिकी विकास और बड़े पैमाने पर एसएमआर की तैनाती की कुंजी होंगी। सफल अनुसंधान, प्रौद्योगिकी विकास और प्रदर्शन, सुरक्षा मूल्यांकन, डिज़ाइन द्वारा सुरक्षा उपाय (एसबीडी) और नियामक प्रक्रिया के सामंजस्य के लिए राष्ट्रीय प्रयोगशालाओं और अनुसंधान संस्थानों, शैक्षणिक संस्थानों, निजी कंपनियों और सरकारी विभागों के बीच सहयोग आवश्यक है।

सरकार की पहल

केंद्रीय बजट 2025-26 ने छोटे मॉड्यूलर रिएक्टरों में आर एंड डी के लिए ₹20,000 करोड़ आवंटित किए हैं, जिसका लक्ष्य 2033 तक कम से कम पांच स्वदेशी रूप से डिज़ाइन किए गए, चालू एसआरएम स्थापित करना है।

फिलहाल, बीएआरसी द्वारा प्रदर्शन हेतु तीन प्रकार के एसएमआर का स्वदेशी रूप से डिज़ाइन और विकास किया जा रहा है। ये रिएक्टर हैं:

- 200 मेगावाट भारत लघु मॉड्यूलर रिएक्टर
- 55 मेगावाट लघु मॉड्यूलर रिएक्टर
- हाइड्रोजन उत्पादन के लिए उपयुक्त थर्मोकेमिकल प्रक्रिया के साथ युग्मन द्वारा हाइड्रोजन उत्पादन के लिए 5 मेगावाट उच्च तापमान गैस कूल्ड रिएक्टर

इन प्रदर्शन रिएक्टरों के निर्माण हेतु सैद्धांतिक स्वीकृति प्राप्त हो चुकी है। परियोजनाओं की प्रशासनिक स्वीकृति प्राप्त होने के बाद, इन प्रदर्शन रिएक्टरों का निर्माण 60 से 72 महीनों में पूरा होने की संभावना है। एनपीसीआईएल के सहयोग से परमाणु ऊर्जा विभाग के स्थलों पर बीएसएमआर और एसएमआर की प्रमुख इकाइयाँ स्थापित करने की योजना है।

इन संयंत्रों को कैप्टिव पावर प्लांट के रूप में तैनाती, बंद हो रहे जीवाश्म ईंधन आधारित संयंत्रों के पुनरुद्देश्यीकरण तथा हाइड्रोजन उत्पादन के लिए डिजाइन और विकसित किया गया है, ताकि औद्योगिक और परिवहन क्षेत्र में परमाणु ऊर्जा के प्रवेश को बढ़ाकर डीकार्बोनाइजेशन के मुख्य उद्देश्य के साथ परिवहन क्षेत्र को समर्थन दिया जा सके।

परमाणु ऊर्जा मिशन, भारत के ऊर्जा परिदृश्य में एक परिवर्तनकारी बदलाव का संकेत हैं। टिकाऊ, स्केलेबल और सुरक्षित ऊर्जा स्रोत के रूप में परमाणु ऊर्जा का विस्तार करके, सरकार का लक्ष्य ऊर्जा सुरक्षा को मजबूत करना और राष्ट्र के दीर्घकालिक आर्थिक और पर्यावरणीय लक्ष्यों को पूरा करना है।

******

परमाणु ऊर्जा की फ्लेक्सिबिलिटी: निम्न-कार्बन विद्युत की आवश्यकता

जितेन्द्र कुमार मीणा, निदेशक, समन्वित संसाधन योजना प्रभाग

परिचय: निम्न-कार्बन विद्युत मार्ग में परमाणु और नवीकरणीय ऊर्जा–दो स्तंभ

जलवायु परिवर्तन के विरुद्ध संघर्ष एक निर्णायक चरण में प्रवेश कर चुका है। COP-21 द्वारा यह लक्ष्य निर्धारित किया गया है कि वर्ष 2100 तक वैश्विक ऊष्मीकरण को +2 °C से "काफी कम" स्तर पर सीमित किया जाए। वर्तमान समय में, वैश्विक स्तर पर CO_2 उत्सर्जन का सर्वाधिक हिस्सा ऊर्जा क्षेत्र से आता है और विशेष रूप से विद्युत क्षेत्र गहन कार्बन न्यूनीकरण का प्रमुख उम्मीदवार है।

यदि परमाणु ऊर्जा को निम्न-कार्बन प्रौद्योगिकियों के वैश्विक मिश्रण में शामिल नहीं किया गया तो जलवायु परिवर्तन की चुनौती का समाधान अत्यधिक कठिन और महंगा हो जाएगा। यद्यपि परमाणु ऊर्जा से अपशिष्ट प्रबंधन की समस्या उत्पन्न होती है, परंतु इसके समाधान पहचाने जा चुके हैं और जलवायु परिवर्तन की चुनौती कहीं अधिक गंभीर है।

निम्न-कार्बन तथा प्रतिस्पर्धी विद्युत मिश्रण को दीर्घकाल तक बनाए रखना आवश्यक है, जो नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों और परमाणु ऊर्जा के परस्पर पूरक संबंध पर आधारित हो। भारत का विद्युत उत्पादन विभिन्न स्रोतों पर आधारित है– कोयला-आधारित विद्युत संयंत्र, नवीकरणीय ऊर्जा स्रोत (जलविद्युत, पवन, सौर एवं बायोमास संयंत्र) तथा सीमित संख्या में परमाणु ऊर्जा इकाइयाँ।

भारत ने 2024-25 में कुल **470 गीगावॉट (GW)** स्थापित क्षमता से लगभग **1678 टेरावॉट-घंटे (TWh)** विद्युत का उत्पादन किया, जिससे वह विश्व के अग्रणी विद्युत उत्पादक देशों में सम्मिलित है। वित्त वर्ष 2025-26 के केंद्रीय बजट में भारत की परमाणु ऊर्जा योजना में एक महत्वपूर्ण परिवर्तन किया गया, जिसके अंतर्गत वर्ष 2047 तक **100 GW** परमाणु क्षमता का लक्ष्य घोषित किया गया है (वर्तमान 8.18 GW से)। यह कदम

भारत की दो प्रमुख आकांक्षाओं– **विकसित भारत 2047** तथा **नेट ज़ीरो उत्सर्जन 2070**–को ध्यान में रखते हुए परमाणु ऊर्जा को ऊर्जा मिश्रण का एक प्रमुख स्तंभ बनाता है।

2. भारत में परमाणु ऊर्जा की यात्रा

भारत ने बहुत प्रारंभिक समय में परमाणु क्षेत्र में कदम रखा। वर्ष 1956 में एशिया का पहला परमाणु अनुसंधान रिएक्टर 'अप्सरा' स्थापित किया गया और 1963 में तारापुर में एशिया का पहला परमाणु विद्युत रिएक्टर आरंभ हुआ। 1954 में ही डॉ. होमी भाभा (भारत के परमाणु कार्यक्रम के जनक) ने वर्ष 1980 तक 8 GW परमाणु विद्युत उत्पादन का लक्ष्य प्रस्तुत किया था।

किन्तु यह यात्रा कठिन रही। चीन युद्ध (1962), 1964 में परमाणु शक्ति संपन्न देशों की श्रेणी में प्रवेश, 1968 में **परमाणु अप्रसार संधि (NPT)** से बाहर रहने का निर्णय तथा 1974 में **शांतिपूर्ण परमाणु विस्फोट** के बाद, भारत को उभरते अंतरराष्ट्रीय परमाणु ढाँचे से बाहर कर दिया गया। सहयोग बंद हुआ और निर्यात नियंत्रणों ने कार्यक्रम को धीमा कर दिया। परिणामस्वरूप लक्ष्य 2000 तक 10 GW कर दिया गया।

भारत को 220 MW के **प्रेशराइज्ड हैवी वॉटर रिएक्टर (PHWR)** की डिज़ाइन को आत्मनिर्भर बनाने में समय लगा। इसका लाभ यह था कि यह प्राकृतिक यूरेनियम का ईंधन के रूप में उपयोग करता था, जबकि तारापुर के **लाइट वॉटर रिएक्टर (LWR)** में **लो एनरिच्ड यूरेनियम (LEU)** की आवश्यकता होती थी, जो अमेरिका और बाद में फ्रांस से आयात किया जाता था। इसके बाद 220 MW की इकाइयाँ नरौरा, कैगा, काकरापार आदि में स्थापित की गईं। डिज़ाइन को 540 MW (तारापुर, 2005-06) और आगे 700 MW (काकरापार, 2024 में दो इकाइयाँ) तक उन्नत किया गया।

1998 के परमाणु परीक्षणों और उसके बाद अमेरिका एवं अन्य साझेदार देशों के साथ समझौतों के बाद, भारत को ज़िम्मेदार परमाणु शक्ति के रूप में स्वीकार किया गया और **NSG (Nuclear Suppliers Group)** से विशेष छूट भी प्राप्त हुई। इससे भारत को परमाणु ईंधन और उन्नत रिएक्टर आयात करने का मार्ग खुला।

फिर भी **CLNDA (Civil Liability for Nuclear Damage Act)** ने विदेशी भागीदारी में बाधा उत्पन्न की। केवल रूस ही कुडनकुलम परियोजना में छह VVER-1000 रिएक्टरों के माध्यम से सहयोग कर रहा है, क्योंकि यह समझौता 1988 (CLNDA से पूर्व) में हुआ था।

वैश्विक स्तर पर परमाणु ऊर्जा में रुचि पुनः बढ़ रही है। COP28 (दुबई, 2023) में **"Declaration to Triple Nuclear Energy"** जारी किया गया, जिसमें परमाणु ऊर्जा को जीवाश्म ईंधनों पर निर्भरता घटाने और ऊर्जा सुरक्षा बढ़ाने के लिए महत्वपूर्ण बताया गया। जून 2024 में **IAEA और विश्व बैंक** ने विकासशील देशों में परमाणु ऊर्जा के समर्थन हेतु सहयोग करने का निर्णय लिया।

भारत को यदि 2047 तक 100 GW लक्ष्य प्राप्त करना है तो उसे विदेशी साझेदारों और निजी क्षेत्र की सक्रिय भागीदारी की आवश्यकता होगी।

3. परमाणु ऊर्जा में फ्लेक्सिबिलिटी की आवश्यकता

अधिकांश परमाणु संयंत्र पूर्ण-क्षमता (बेस-लोड) पर संचालित होते हैं क्योंकि उनका योगदान कुल विद्युत आपूर्ति में अपेक्षाकृत कम (10%-30%) होता है। फ्लेक्सिबिलिटी प्रायः गैस, कोयला और अन्य जीवाश्म ईंधन आधारित संयंत्रों से आता है, जो अतिरिक्त CO_2 उत्सर्जन का कारण बनता है। निरंतर विद्युत आपूर्ति सुनिश्चित करने के लिए या तो नवीकरणीय ऊर्जा से उत्पन्न विद्युत को संग्रहित करके आवश्यकता पड़ने पर उपयोग करना होगा, अथवा ऐसे उत्पादन संयंत्रों की आवश्यकता होगी जो अपनी उत्पादन क्षमता को आसानी से घटा-बढ़ा सकें।

4. प्लांट फ्लेक्सिबिलिटी क्या है?

यद्यपि उच्च विद्युत भंडारण क्षमता वर्तमान में विश्वभर की विद्युत उपयोगिताओं का लक्ष्य है, फिर भी औद्योगिक स्तर पर विद्युत को बड़े पैमाने पर संग्रहित करना अभी संभव नहीं है। इस कारण, एक विद्युत प्रणाली को तीव्रता से परिवर्तित होती मांग और उत्पादन के संतुलन के अनुसार स्वयं को समायोजित करने में सक्षम होना चाहिए।

जहाँ मांग पक्ष पर संतुलन स्थापित करने के उपाय उपलब्ध हैं, यह दस्तावेज़ मुख्य रूप से उत्पादन पक्ष पर संतुलन पर केंद्रित है।

बेस-लोड संचालन (Base-load operation) से आशय निरंतर और स्थिर विद्युत उत्पादन से है, जो इकाई के निर्धारित मानकों पर निर्भर करता है। शक्ति उत्पादन में परिवर्तन हो सकते हैं–चाहे वे नियोजित हों (जैसे ईंधन भराई या समय-समय पर रखरखाव हेतु कमी या बंद करना) अथवा अनियोजित (जैसे आकस्मिक रखरखाव)–परंतु बेस-लोड संचालित संयंत्रों के मामले में ये परिवर्तन प्रायः संयंत्र स्तर पर घटित घटनाओं के कारण होते हैं, न कि ग्रिड प्रणाली की आवश्यकताओं के कारण। ऐतिहासिक रूप से, विश्व की अधिकांश परमाणु विद्युत संयंत्र इकाइयों का संचालन बेस-लोड मोड में किया गया है। इसका कारण यह है कि निरंतर स्थिर स्तर पर संचालन करना संयंत्र उपकरणों एवं ईंधन के लिए सरल और कम चुनौतीपूर्ण होता है। साथ ही, उच्च पूंजी लागत और अपेक्षाकृत कम परिवर्तनशील लागत वाले परमाणु संयंत्रों को अधिकतम समय तक संचालित रखना आर्थिक दृष्टि से भी लाभकारी होता है। (परिवर्तनशील लागत का मुख्य भाग ईंधन-संबंधी लागत होती है, जो कुल परिचालन लागत का लगभग 30% से भी कम होती है)।

इसके विपरीत, **फ्लेक्सिबल (Flexible Operation)** से आशय ऐसे किसी भी परिचालन मोड से है जिसमें विद्युत उत्पादन, ग्रिड प्रणाली की मांग को पूरा करने के लिए परिवर्तित होता है। चूँकि विद्युत मांग निरंतर परिवर्तित होती रहती है, अतः उत्पादन और मांग के बीच अंतर होने से ग्रिड की आवृत्ति (frequency) में उतार-चढ़ाव होता है– मांग बढ़ने पर आवृत्ति गिरती है (उत्पादन की कमी) और मांग घटने पर आवृत्ति बढ़ती है (उत्पादन की अधिकता)।

फ्लेक्सिबल संचालन के दो प्रमुख प्रकार होते हैं:

1. **लोड-फॉलोइंग (Load Following):** इसमें बड़े पैमाने पर लोड परिवर्तन कार्यक्रम पूर्व-निश्चित किए जाते हैं, जो ग्रिड ऑपरेटर और संयंत्र ऑपरेटर के बीच सहमति से तय होते हैं। फ्रांस के परमाणु संयंत्रों में यह लागू है, परंतु सभी देशों में नहीं।

2. **आवृत्ति नियंत्रण (Primary and Secondary Frequency Control):** इसमें स्वतः संचालित लघु लोड परिवर्तन किए जाते हैं, जिनका उद्देश्य ग्रिड आवृत्ति को नियंत्रित रखना होता है। जब भी उपलब्ध हों, यह नियंत्रण प्रायः सभी परमाणु संयंत्रों में लागू किया जाता है।

इन दोनों प्रकार की फ्लेक्सिबिलिटी प्रणालियाँ एक-दूसरे पर आरोपित की जा सकती हैं।

- **लोड-फॉलोइंग मोड** में परमाणु विद्युत संयंत्र एक पूर्व निर्धारित लोड पैटर्न का अनुसरण करता है, जिसे ग्रिड ऑपरेटर द्वारा अनुमानित विद्युत मांग (समय, दिन, सप्ताह, ऋतु अथवा आकस्मिक ग्रिड घटनाओं के आधार पर) और संयंत्र की वास्तविक क्षमताओं के अनुसार तय किया जाता है। इस मोड में विद्युत उत्पादन संयंत्र ऑपरेटर द्वारा मैन्युअल रूप से सेट किया जाता है।
- **आवृत्ति नियंत्रण मोड** में संयंत्र को ग्रिड की आवृत्ति की निरंतर निगरानी करनी होती है और इच्छित मान (50 हर्ट्ज़) पर इसे स्थिर रखने के लिए अपने उत्पादन स्तर को तुरंत अनुकूलित करना होता है। यह कार्य **स्वचालित आवृत्ति नियंत्रण (Automatic Frequency Control - AFC)** प्रक्रिया द्वारा किया जाता है, जो विभिन्न समय-सीमाओं और तीव्रताओं पर कार्य करती है। प्राथमिक आवृत्ति नियंत्रण (Primary Frequency Control) अल्पकालिक समायोजन प्रदान करता है और ग्रिड आवृत्ति में अचानक आए उतार-चढ़ाव को स्थिर करता है। टर्बाइन पर लागू स्वचालित नियंत्रण, आवृत्ति घटने पर उत्पादन बढ़ा देता है और आवृत्ति बढ़ने पर उत्पादन घटा देता है।

5. परमाणु और नवीकरणीय ऊर्जा गठबंधन: फ्लेक्सिबिलिटी के साथ सामंजस्य

डिस्पैचेबल (नियंत्रित रूप से संचालित) विद्युत संयंत्रों के सामने दो मुख्य बाधाएँ होती हैं:

1. उपभोक्ताओं की बदलती मांग के कारण होने वाले शक्ति उतार-चढ़ाव, तथा
2. परिवर्तनीय (अनियमित) नवीकरणीय ऊर्जा उत्पादन में होने वाले अवश्यंभावी उतार-चढ़ाव, जो मौसम की स्थिति और दिन/रात्रि चक्र पर निर्भर करते हैं।

इस कारण बड़े विद्युत संयंत्रों (जैसे परमाणु या जीवाश्म ईंधन आधारित इकाइयों) से फ्लेक्सिबिलिटी अपेक्षित होता है। जलविद्युत उत्पादन स्वाभाविक रूप से लचीला होता है और इस दृष्टि से सहायक भूमिका निभाता है।

नवीकरणीय ऊर्जा स्रोत (RES) दो प्रकार के होते हैं:

- **डिस्पैचेबल या नियंत्रित स्रोत**, जैसे जलविद्युत, बायोमास और भू-तापीय ऊर्जा, तथा
- **नॉन-डिस्पैचेबल स्रोत** जिन्हें **परिवर्तनीय नवीकरणीय ऊर्जा (Variable Renewable Energy - VRE)** भी कहा जाता है, जैसे पवन और सौर ऊर्जा, जो स्वाभाविक रूप से अत्यधिक उतार-चढ़ाव वाले होते हैं।

"मेरिट ऑर्डर" (Merit Order) से आशय उस क्रम से है जिसमें विद्युत बाजार विभिन्न उत्पादन स्रोतों का उपयोग करता है। सामान्यतः, उस समय उपलब्ध सबसे कम परिवर्तनशील लागत वाले स्रोत को प्राथमिकता दी जाती है:

- बिना लागत वाले संसाधन जैसे पवन, सौर ऊर्जा और नदी-आधारित जलविद्युत संयंत्रों का उपयोग बेस (Base) उत्पादन के लिए किया जाता है, क्योंकि ये संसाधन (नदी प्रवाह, हवा, सूर्य) "मुफ़्त" होते हैं और यदि उपयोग न किए जाएँ तो नष्ट हो जाते हैं।
- परमाणु संयंत्र, जिनकी परिचालन परिवर्तनशील लागत कम होती है, का उपयोग बेस और मध्य-स्तरीय (Mid-merit) उत्पादन के लिए किया जाता है।

- समायोज्य जलविद्युत संयंत्र (झील आधारित, पम्प्ड स्टोरेज स्टेशन) तथा तापीय बेड़ा (मुख्यतः गैस टर्बाइन या संयोजन चक्र) का उपयोग मध्य और उच्चतम (Peak) मांग को पूरा करने के लिए किया जाता है।

परंतु, VRE उत्पादन स्थानीय मौसम परिस्थितियों (हवा, सूर्य, बादल आदि) पर निर्भर करता है, जो आवश्यक समय पर उपलब्ध नहीं भी हो सकती हैं। ऐसे में परमाणु ऊर्जा को शेष मांग में होने वाले उतार-चढ़ाव के अनुसार स्वयं को अनुकूलित करना पड़ता है। अधिक मात्रा में नवीकरणीय ऊर्जा (विशेषकर जलविद्युत सहित) को सम्मिलित करने से मेरिट ऑर्डर में बदलाव आएगा–उच्च परिवर्तनशील लागत वाली इकाइयाँ (कोयला, गैस) हट जाएँगी और बाज़ार मूल्य परमाणु उत्पादन लागत के स्तर पर पहुँच जाएगा।

भविष्य में, जब विद्युत प्रणाली में पवन और सौर जैसे असमकालिक (Non-synchronous) उत्पादन स्रोतों की हिस्सेदारी बड़ी होगी, तब ऐसी सहायक सेवाएँ सामने आएँगी जिन्हें ये स्रोत प्रदान नहीं कर सकते। ईंधन के भंडारण का महत्व बढ़ेगा और उत्पादकों को अपनी बेस इकाइयों के लिए नए प्रकार के प्रतिफल (compensation) प्राप्त होंगे। उदाहरण के लिए, हाल ही में शुरू किए गए क्षमता बाज़ार (Capacity Market) में आपूर्तिकर्ताओं को पूरक भुगतान किया जा रहा है।

भविष्य में नवीकरणीय ऊर्जा के बड़े पैमाने पर विस्तार के साथ, विद्युत प्रणाली की सुरक्षा सुनिश्चित करने हेतु नई सेवाएँ विकसित होंगी, और इनसे जुड़ी वित्तीय प्रतिपूर्ति भी उपलब्ध होगी। ऐसी नई सेवाओं में से एक **इनर्शिया सेवा (Inertia Service)** हो सकती है। ग्रिड आवृत्ति को नियंत्रित और स्थिर बनाए रखने में **अल्टरनेटरों की घूर्णन गति** अत्यंत महत्वपूर्ण होती है।

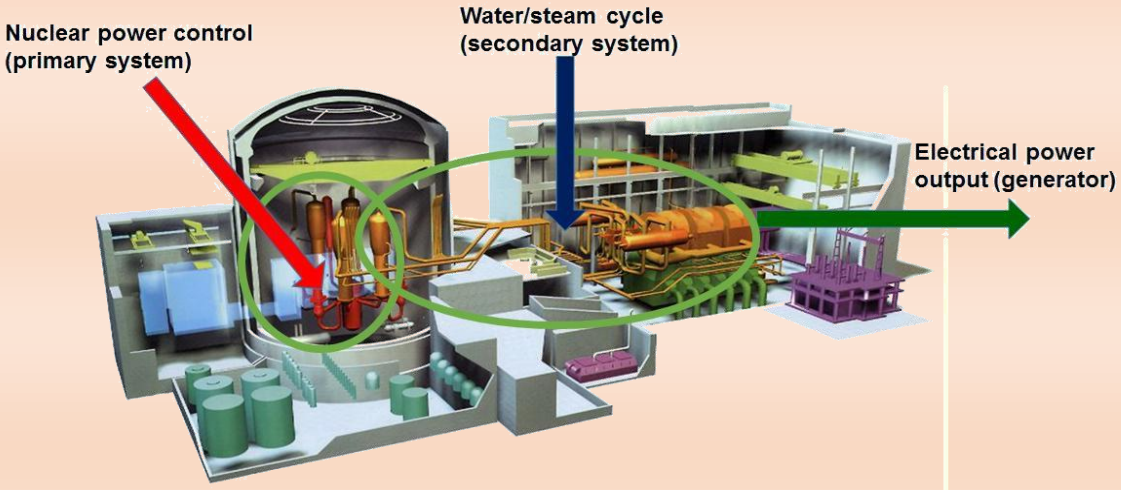
- पारंपरिक प्रौद्योगिकियाँ (जैसे परमाणु और जलविद्युत संयंत्रों के अल्टरनेटर) भारी घूर्णनशील द्रव्यमान के कारण उच्च इनर्शिया उत्पन्न करते हैं। यह भौतिक गुण तेजी से मंदन या त्वरण का प्रतिरोध करता है, और ग्रिड आवृत्ति पर स्थिरकारी प्रभाव डालता है।
- इसके विपरीत, पवन टर्बाइन और विशेष रूप से सौर पैनल, बहुत कम इनर्शिया प्रभाव डालते हैं।

इस प्रकार, उत्पादन प्रौद्योगिकियों में बड़े बदलाव से ग्रिड आवृत्ति स्थिरता कम हो सकती है, और इनर्शिया क्षमता के लिए प्रोत्साहन (reward) देने की आवश्यकता उत्पन्न होगी। इस क्षेत्र में परमाणु संयंत्र अग्रणी भूमिका निभा सकते हैं।

साथ ही, परमाणु ईंधन प्रणाली को फ्लेक्सिबिलिटी प्रदान कर सकती है, और ईंधन उपयोग के अनुकूलन द्वारा उत्पादक अधिकतम लाभ प्राप्त कर सकेंगे।

भविष्य की विद्युत प्रणाली में उत्पादकों को केवल ऊर्जा बाज़ार से ही नहीं, बल्कि विभिन्न स्रोतों से उनके उत्पादन हेतु भुगतान किया जाएगा। अपनी आंतरिक विशेषताओं के कारण, परमाणु संयंत्र विद्युत प्रणाली और उसकी सुरक्षा के लिए एक अमूल्य संपत्ति सिद्ध होंगे।

6. परमाणु विद्युत संयंत्र में फ्लेक्सिबल संचालन की मूल बातें



चित्र 1. एक विशिष्ट इकाई जो विद्युत फ्लेक्सिबिलिटी प्रदान करने में सक्षम है (रिएक्टर कोर में शक्ति नियंत्रण, जल/वाष्प चक्र ऊर्जा)

चित्र 1 में दर्शाया गया है कि पात्र (vessel) में यूरेनियम विखंडन और न्यूट्रॉन अवशोषण अभिक्रियाओं द्वारा प्राथमिक जल में उत्पन्न ऊष्मा को एक द्वितीयक प्रणाली में स्थानांतरित किया जाता है। यह प्रक्रिया भाप जनित्र (steam generator) के माध्यम से होती है, जहाँ जल को भाप में परिवर्तित किया जाता है। यह भाप टरबाइन को संचालित करती है, जो विद्युत जनित्र को चलाती है। तत्पश्चात, उत्पन्न विद्युत को ट्रांसफॉर्मरों और लाइनों के माध्यम से विद्युत ग्रिड तक पहुँचाया जाता है।

परमाणु संयंत्र का विद्युत उत्पादन टरबाइन में प्रवेश करने वाले द्रव्यमान प्रवाह दर (mass flow rate) को बदलकर नियंत्रित किया जाता है। इस हेतु, संयंत्र संचालक भाप जनित्र से उत्पन्न भाप की मात्रा में परिवर्तन कर सकते हैं, और इस प्रकार पात्र में हो रही परमाणु अभिक्रिया को भी नियंत्रित कर सकते हैं।

एक वैकल्पिक समाधान यह है कि रिएक्टर कोर की तापीय शक्ति को स्थिर रखा जाए और उत्पन्न भाप को टरबाइन की बजाय बाईपास या रिलीज वाल्वों के माध्यम से संघनित्र (condenser) अथवा वातावरण में भेज दिया जाए।

7. परमाणु विद्युत संयंत्र के रिएक्टर कोर का नियंत्रण

रिएक्टर कोर की तापीय शक्ति में परिवर्तन, विखंडन अभिक्रियाओं को नियंत्रित (modulate) करके किया जा सकता है। यह विधि प्रभावी तो है, किंतु इसका कोर न्यूट्रॉनिक्स (जैसे फ्लक्स वितरण, बर्न-अप दर, विखंडन उप-उत्पाद), सामग्री (तापीय सीमाएँ) और सुरक्षा (क्षणिक परिवर्तनों पर प्रतिक्रिया) पर महत्वपूर्ण प्रभाव पड़ता है।

रिएक्टिविटी नियंत्रण के दो मुख्य साधन होते हैं:

1. **कंट्रोल रॉड्स**
2. **बोरिक अम्ल का सांद्रण**

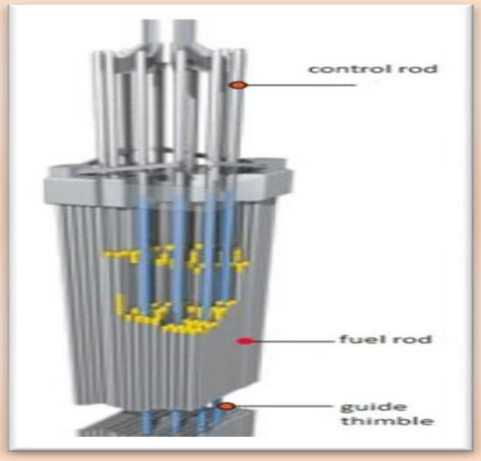
दोनों ही न्यूट्रॉन अवशोषक के रूप में कार्य करते हैं।

कंट्रोल रॉड्स यूरेनियम विखंडन प्रक्रिया का वास्तविक समय (real-time) में नियंत्रण संभव बनाते हैं। ये न्यूट्रॉन-अवशोषक सामग्रियों से निर्मित होते हैं और रिएक्टर की सुरक्षा सुनिश्चित करने हेतु पर्याप्त रिएक्टिविटी मार्जिन प्रदान करते हैं। इनका उपयोग प्रायः रिएक्टर शक्ति में तीव्र परिवर्तन (जैसे शटडाउन और स्टार्ट-अप) के लिए किया जाता है।

जहाँ अधिकांश परमाणु रिएक्टर आज भी मानक **"ब्लैक" कंट्रोल रॉड्स** (जिनका न्यूट्रॉन-अवशोषण प्रभाव अत्यधिक होता है) का उपयोग करते हैं, वहीं EDF के अधिकांश रिएक्टर **"ग्रे" कंट्रोल रॉड्स** से सुसज्जित हैं। इनका न्यूट्रॉन-अवशोषण प्रभाव अपेक्षाकृत कम होता है, जिससे स्थानीय शक्ति पैटर्न के अनुसार समायोजन संभव हो पाता है।

"ग्रे" कंट्रोल रॉड्स उस विकृति (deformation) को कम करते हैं, जो मानक "ब्लैक" कंट्रोल रॉड्स को कोर में डालने या निकालने पर न्यूट्रॉन फ्लक्स वितरण में उत्पन्न होती है। यह विशेषता उन्हें कोर की तापीय शक्ति में परिवर्तन को नियंत्रित करने के लिए विशेष रूप से उपयुक्त बनाती है। उदाहरणस्वरूप, जब विद्युत भार को घटाना आवश्यक होता है, तो ग्रे रॉड्स के कई समूहों को धीरे-धीरे कोर में प्रविष्ट कराया जाता है।

बोरिक अम्ल नियंत्रण भी कोर रिएक्टिविटी को नियंत्रित करने का एक साधन है। बोरिक अम्ल एक घुलनशील न्यूट्रॉन-अवशोषक है जिसे रिएक्टर शीतलक (coolant) में मिलाया जाता है। यह ईंधन चक्र की संपूर्ण अवधि में नकारात्मक रिएक्टिविटी प्रदान करता है और कोर की दीर्घकालिक रिएक्टिविटी के विनियमन में सहायता करता है। कंट्रोल रॉड्स के विपरीत, बोरिक अम्ल का नियंत्रण पूरे कोर में समान शक्ति और फ्लक्स वितरण सुनिश्चित करता है।



चित्र 2. कंट्रोल रॉड

जब पूर्ण शक्ति भार (full power load) स्थिर होता है, तो **ज़ेनॉन (Xenon)** – जो एक न्यूट्रॉन-अवशोषक विखंडन उप-उत्पाद है – रिएक्टर कोर में समान रूप से वितरित होता है। ज़ेनॉन विखंडन अभिक्रियाओं से उत्पन्न होता है (स्थानीय शक्ति के अनुपात में) और शक्ति घटने पर एक निश्चित विलंब के बाद इसकी सांद्रता बढ़ती है, तथा समय के साथ यह घटती भी है।

जब शक्ति घटाई जाती है, तो ज़ेनॉन की मात्रा और उसका स्थानीय वितरण बदलता है। इसे प्रबंधित करने के लिए प्राथमिक परिपथ (primary circuit) में बोरिक अम्ल का इंजेक्शन किया जाता है ताकि ज़ेनॉन सांद्रता के समग्र रूप से घटने की भरपाई की जा सके। इसी प्रकार, जब ज़ेनॉन स्तर बढ़ता है तो बोरिक अम्ल को पतला (dilute) करके इसकी सांद्रता कम की जाती है।

ईंधन चक्र के अंतिम तिहाई हिस्से में, बोरॉन (boron) के पतलापन (dilution) की क्षमता ही शक्ति परिवर्तन की सीमा को कम कर देती है। चूँकि चक्र के दौरान परिपथ में बोरॉन सांद्रण धीरे-धीरे घटता है, समान मात्रा में बोरॉन हटाने के लिए अधिक जल की आवश्यकता होती है। लेकिन पतलापन प्रवाह (dilution flow) सीमित होता है, इसलिए शक्ति परिवर्तन की परिमाण (amplitude) को कम करना पड़ता है ताकि सामान्य गति से शक्ति का समुचित नियमन किया जा सके।

8. निष्कर्ष एवं परिप्रेक्ष्य: नाभिकीय फ्लेक्सिबिलिटी - नवीकरणीय ऊर्जा की हिस्सेदारी बढ़ाने हेतु एक सुरक्षित और CO_2-मुक्त समाधान है

यद्यपि नवीकरणीय ऊर्जाएँ यूरोप की बिजली उत्पादन को डीकार्बोनाइज़ करने की रणनीति में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती हैं, फिर भी **सिस्टम स्थिरता और आपूर्ति सुरक्षा** सुनिश्चित करने के लिए **डिस्पैचेबल उत्पादन** आवश्यक बना रहता है। यूरोपीय विद्युत प्रणाली में पवन एवं सौर ऊर्जा के व्यापक उपयोग की तकनीकी और आर्थिक व्यवहार्यता पर किए गए दीर्घकालिक अध्ययनों से यह निष्कर्ष निकलता है कि आवश्यक CO_2 कटौती प्राप्त करने के लिए परमाणु ऊर्जा का योगदान अनिवार्य है।

लचीले संचालन हेतु **उचित संयंत्र डिज़ाइन** (सुरक्षा मार्जिन, सहायक उपकरण) और **संचालकों के उपयुक्त कौशल** की आवश्यकता होती है। किंतु, तीन दशकों की श्रेष्ठ प्रथाओं और व्यापक अनुभव से प्राप्त फीडबैक यह दर्शाता है कि स्थापित परमाणु संयंत्रों की नाममात्र क्षमता (प्रतिदिन दो प्रमुख शक्ति कटौतियाँ, तथा आधे घंटे में 100% से 20% शक्ति तक संक्रमण) सुरक्षित है और ग्रिड में नवीकरणीय ऊर्जा मौजूद होने पर भी मांग और उत्पादन में संतुलन स्थापित कर सकती है।

भविष्य के लिए विकसित किए जा रहे **स्मॉल मॉड्यूलर रिएक्टर्स (SMRs, 50 से 300 मेगावाट इकाइयाँ)** के विनिर्देशों में भी फ्लेक्सिबिलिटी विशेष रूप से सम्मिलित किया जा रहा है।

बिजली, CO_2 उत्सर्जन में प्रत्यक्ष कमी लाने के साथ-साथ परिवहन, निर्माण और औद्योगिक क्षेत्रों में **जीवाश्म ईंधनों का विकल्प** बनने में भी प्रमुख भूमिका निभाती है। 2°C वैश्विक ऊष्मीकरण सीमा को साधने वाले भावी परिदृश्यों में 2040-2070 तक **निम्न-कार्बन बिजली** प्रमुख ऊर्जा स्रोत होनी चाहिए। इसका अर्थ है कि 2050 तक उत्सर्जन को मौजूदा स्तर के एक-चौथाई तक लाने और **कार्बन न्यूट्रैलिटी** प्राप्त करने के लिए बिजली के उपयोग में तीव्र वृद्धि करनी होगी।

हालाँकि, यदि **भारत** को 2047 तक 100 GW की प्रतिबद्धता पूरी करनी है, तो उसे **विदेशी भागीदारों और निजी क्षेत्र** की आवश्यकता होगी। सरकार ने इसे स्वीकार तो किया है, परंतु अब इसके लिए

आवश्यक सुधारों को व्यापक और निर्णायक रूप से आगे बढ़ाना होगा।

इस परिप्रेक्ष्य में, **नाभिकीय और नवीकरणीय ऊर्जा का सशक्त गठबंधन** जलवायु परिवर्तन से निपटने और COP21 द्वारा निर्धारित 2°C लक्ष्य से आगे बढ़ने हेतु **एक सुरक्षित, लागत-प्रभावी और स्वच्छ समाधान** है, जो निम्न-कार्बन विद्युत उत्पादन मिश्रण प्राप्त करने में सहायक होगा।

******

'ऊषा - अदम्य साहस की परिभाषा'

पुष्पा रानी राव, प्रिंसिपल स्टाफ ऑफ़िसर

पापा को प्यारी बिटिया मिली, माँ को मिली लाड़ली,
नन्हीं के रूप में भाई-बहन ने एक चपल गुड़िया पाई,
'ऊषा' नाम मिला अपनों से, भोर की लालिमा जो, मुख पर थी छाई,
देखकर गोलू-मोलू रूप उसका, सबके मुख से निकला- 'बबली',
सुनकर 'बबली' सम्बोधन, नन्हीं भी मुस्कुराए बिना न रह पाई,
जन्म पर उसके, पूरे परिवार में हर्ष की एक लहर-सी आई।

बचपन में चलने को उसने, जब पहला कदम बढ़ाया,
अकस्मात ही उसके जीवन में भारी झंझावात आया,
माता-पिता पर तो जैसे दुखों का पहाड़ टूट पड़ा,
पर छोटी बबली के सम्मुख तो था पूरा जीवन खड़ा,
बाहें फैलाकर उसे अपनी ओर बुला रही थी कठिनाइयां,
इन सबसे अनजान नन्हीं बबली, भरती रहती किलकारियां ।

संघर्षो से लड़ने के लिए पापा ने हाथ में थमायी ज्ञान की तलवार,
माँ ने भी उड़ेल दिया था उसपर अपना पूरा स्नेह-दुलार,
हिम्मत ना हारी उसने भी, और प्रयास किए अपरम्पार,
कमर कसके वह तो थी, हर संकट से भिड़ने को तैयार,
सफ़र जटिल था, मंजिल थी दूर, राहें बाधित, चुनौतियों से भरपूर,
उसकी हार ना मानने की ज़िद की चोट से, बाधायें भी हो गई चूर-चूर ।

जज़्बा था कुछ बनने का, अथक परिश्रम और अध्ययन से उच्च शिक्षा पाई,
झुकी नहीं, विषम परिस्थितियों के सामने, परिस्थितियाँ अपने अनुकूल बनायी,
बैठी नहीं कुंठित होकर, शब्दों में पिरोकर अपनी 'अन्तर्वेदना', लोगों के मानस-पटल तक पहुंचाई,
दृढ़ संकल्प और समर्पण के पंख लगाकर उसने 'उड़ान' भरकर दिखलायी,
इलाज करने के लिए लाइलाज़ हालातों का, रचना की स्वयं 'संजीवनी' की,
हथियार बनाकर शिक्षा और हुनर को, ज़िंदगी की हर जंग वह जीत पाई ।

अपने जीवन-वृतान्त को नाम दिया उसने - "लाईफ ऑन व्हील्स"
मेरी नज़रों से देखो तो, ये होना चाहिए - "लाईफ ऑन विंग्स"
क्योंकि -
कमज़ोर नहीं माना कभी खुद को, अपनी आंतरिक शक्ति को उसने जगाया,
पराक्रम के पंख लगाकर, सफलता की ऊँचाइयों को छू कर दिखलाया,
अपनी लगन और निष्ठा के बलबूते अपने कर्मक्षेत्र में प्रभुत्व बनाया,
संघर्ष से सफ़लता तक का सफ़र तय करके इज़्ज़तदार मुकाम है पाया ।

सक्षम है, वह समर्थ है, साहसी है, वह निडर है, वह एक जन्मजात लीडर है,
उलझी नहीं ज़िंदगी की पहेलियों में, अनसुलझी पहेलियों को उसने सुलझाया,
अपनी एक पहचान बनाई, अच्छा-खासा नाम कमाया, समाज में सम्मान पाया,
करेगा कोई अपनी बेटी का 'ऊषा' नामकरण, वो देगा उसका ही उदाहरण,
बबली है वह, वह 'ऊषा' है, औरों के लिए प्रेरणा है वो, वही है जीतने की आशा,
अदम्य साहस की वो है परिभाषा.... अदम्य साहस की वो है परिभाषा....।

******

महँगाई से बचने के फॉर्मूले

ऊषा वर्मा, पूर्व उप निदेशक (रा.भा.),
दिव्या माँदीवाल, कनिष्ठ अनुवाद अधिकारी, राजभाषा अनुभाग

मैंने महँगाई से लड़ने के लिए,
प्याज, टमाटर सलाद से हटा दिए हैं।
स्वस्थ रहने के लिए खाने में,
एक रोटी कम कर दी है।
कभी एक पड़ौसी और दूसरी पड़ौसिन से
लिफ्ट लेता रहता हूँ।
कभी उन्हें लिफ्ट दे कर पैट्रोल बचाता हूँ।
उसके दो फायदे हैं,
आपस में भाईचार बढ़ता है,
पड़ौसिन का साथ सहज में मिलता है।
पड़ौसिन खुश-बीवी खुश,
इससे नए ट्रैंड और फैशन का पता भी
चलता है।
पर्सनैलिटी में सुधार होता है।
पैट्रोल बचता है पैसा बचता है।
मैं अपने माता-पिता के मकान में आ गया
हूँ,
सरकारी मकान, किराया बच जाता है,
बच्चों के आलतू-फालतू खर्चे माँ-बाप उठा
लेते हैं।

घर में एक ही सामान मिलजुल कर
इस्तेमाल कर लेते हैं, खर्चा बचता है।
बासी खाना भी नहीं बचता है।
कोई न कोई कुछ न कुछ खा ही लेता है।
जब पूरा परिवार बाहर निकलता है
तभी मेरी कार बाहर निकालती है।
मकान के बाहर थोड़ी कच्ची जमीन है।
वहाँ सब्जियों के पौधे लगाए हैं।
धनिया, मिर्च, पोदीना गमले में लगाए हैं।
एक फल का पेड़ भी बाहर लगाया है।
उस सबसे कुछ पैसों की बचत होती है।
बच्चे कम महँगे स्कूल में पढ़ते हैं,
ट्यूशन नहीं जा कर मुझसे पढ़ते हैं।

बीवी खुश रहती है
मैं उसके सामने रहता हूँ
मैं खुश हूँ घर का काम नहीं करता हूँ।
इससे समय अच्छा बीतता है,
बाहर घूमने कम जाना पड़ता है
जिससे पैसा बचता है
और घर में शैतानियां कम होती हैं।
बच्चों पर अधिक नियंत्रण रहता है।
मैं शाकाहारी बनता जा रहा हूँ,
सिगरेट भी छूट गई है पीता केवल फ्री की
हूँ,
इस तरह नेक इंसान बनता जा रहा हूँ।
काम कराने के लिए बड़ी रिश्वत देनी छोड़
दी है।
अफसर को नहीं उसके चपरासी से दोस्ती
रखी है

हजारों की गिफ्ट नहीं
एक बीड़ा पान, चाय-पकौड़ा या सिगरेट से
काम निकलवा लेता हूँ।
बचत के हम और भी फार्मूले अपनाते हैं,
कभी खाने पर बुलाओ तो बतलाते हैं।

******

फोटो फ़ीचर

सितम्बर, 2025 में श्री भगवान सहाय बैरवा, मुख्य अभियंता, केविप्रा, इकोनॉमिक टाइम्स एनर्जी लीडरशिप समिट 2025 में "पावरिंग इंडिया 2047: क्लीन एनर्जी फॉर विकसित भारत" विषय पर एक पैनल चर्चा में व्याख्यान देते हुए।

सितम्बर, 2025 में अध्यक्ष, केविप्रा ने छठे अंतर्राष्ट्रीय ऊर्जा सम्मेलन एवं प्रदर्शनी में परमाणु ऊर्जा पर हुए सत्र में भाग लिया, जिसमें राष्ट्रीय परमाणु मिशन के महत्वाकांक्षी लक्ष्य- 2047 तक 100 गीगावाट परमाणु क्षमता प्राप्त करने पर ध्यान केंद्रित किया गया, जो कि विकसित भारत दृष्टिकोण के अंतर्गत है।

स्वच्छता को संस्थागत बनाने और सरकारी कार्यालयों में लंबित मामलों को कम करने की सरकार की पहल के अनुरूप, केविप्रा 2021 से विशेष अभियानों में सक्रिय रूप से भाग ले रहा है। इसी क्रम में दिनांक 17 सितम्बर से 2 अक्तूबर तक 'स्वच्छता ही सेवा अभियान 2025' के तहत "स्वछोत्सव" मनाया जा रहा है।

श्री वी.के. सिंह, सदस्य (पावर सिस्टम्स), केविप्रा ने दिनांक 04 सितम्बर, 2025 को सीपीआरआई एनुअल कस्टमर मीट 2025, बेंगलुरु में मुख्य भाषण दिया।

एशिया और प्रशांत क्षेत्र के लिए संयुक्त राष्ट्र आर्थिक और सामाजिक आयोग (United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific), जिसमें 53 सदस्य देश और 9 सहयोगी देश हैं, की ऊर्जा समिति के चौथे सत्र में भारत का नेतृत्व करते श्री भगवान सहाय बैरवा, मुख्य अभियंता, केंद्रीय विद्युत प्राधिकरण ।

यह सत्र 3 से 5 सितम्बर 2025 तक बैंकॉक, थाईलैंड में आयोजित किया गया ।

श्री अजय तलेगांवकर, सदस्य (ईएंडसी), केविप्रा को दिनांक 13 अगस्त, 2025 को आईजीएक्स द्वारा आयोजित 'गैस आधारित बिजली संयंत्रों द्वारा प्राकृतिक गैस सोर्सिंग' विषय पर एक वेबिनार में मुख्य वक्ता के रूप में आमंत्रित किया गया।

श्री हेमंत जैन, सदस्य (जीओएंडडी), केविप्रा ने दिनांक 31 जुलाई, 2025 को नई दिल्ली में इंडिया एनर्जी फोरम द्वारा आयोजित 22वें नवीकरणीय ऊर्जा शिखर सम्मेलन में एक सत्र की अध्यक्षता की।

दिनांक 30 जुलाई, 2025 को केविप्रा ने नवीन एवं नवीकरणीय ऊर्जा सचिव को STELLAR (दीर्घकालिक भार पर्याप्तता एवं लचीलेपन के लिए रणनीतिक विस्तार) प्रस्तुत किया- जो उत्पादन, पारेषण, भंडारण एवं मांग प्रतिक्रिया की समन्वित योजना के माध्यम से भारत की संसाधन पर्याप्तता नीति का समर्थन करता है। यह ग्रिड विश्वसनीयता के लिए एक बड़ा कदम

17वां टीएंडडी कॉन्क्लेव 2025 दिल्ली में जुलाई माह में एक जीवंत उद्घाटन सत्र के साथ शुरू हुआ, जिसमें उद्योग जगत के अग्रणी लोग टीएंडडी पारिस्थितिकी तंत्र में विचारों के गतिशील आदान-प्रदान, वकालत और सहयोग के लिए एक साथ आए। इसमें श्री घनश्याम प्रसाद, अध्यक्ष, केविप्रा मुख्य अतिथि के रूप में शामिल हुए और उन्होंने मुख्य भाषण दिया, जिससे आगे की चर्चाओं की दिशा तय हुई।

दिनांक 24 जुलाई 2025 को श्री घनश्याम प्रसाद, अध्यक्ष, केविप्रा ने नई दिल्ली में एडीबी और आईईईएमए द्वारा आयोजित दक्षिण एशिया उपक्षेत्रीय आर्थिक सहयोग (एसएएसईसी) कार्यशाला में मुख्य अतिथि के रूप में बांग्लादेश, नेपाल, भूटान, श्रीलंका, मालदीव और म्यांमार के प्रतिनिधियों को संबोधित किया।

दिनांक 26 जून, 2025 को केन्द्रीय विद्युत् प्राधिकरण, विद्युत मंत्रालय, भारत सरकार ने बीएसईएस के सहयोग से विद्युत सुरक्षा दिवस-2025 का आयोजन किया।

दिनांक 23 सितम्बर, 2025 को केविप्रा मुख्यालय में "शारीरिक समस्याएँ और स्वास्थ्य लाभ सुझाव" विषय पर हिंदी कार्यशाला आयोजित की गयी। कार्यशाला में सुश्री दिव्या आर्या, वरिष्ठ फिजियोथेरेपिस्ट, रिवाइवल हेल्थकेयर सर्विसेज, नोएडा द्वारा व्याख्यान दिया गया।

राजभाषा विभाग, गृह मंत्रालय, भारत सरकार द्वारा दिनांक 11 जुलाई, 2025 को हैदराबाद में राजभाषा विभाग स्वर्ण जयंती समारोह (दक्षिण संवाद) का आयोजन किया गया, जिसमें मुख्य अभियंता एवं राजभाषा प्रभारी (एचआरडी), केविप्रा सहित राजभाषा अनुभाग, केविप्रा के कार्मिकों ने प्रतिभागिता की।

हैदराबाद में आयोजित राजभाषा विभाग स्वर्ण जयंती समारोह (दक्षिण संवाद) में प्रतिभागिता का छायाचित्र।

राजभाषा विभाग, गृह मंत्रालय, भारत सरकार द्वारा दिनांक 14 एवं 15 सितम्बर, 2025 को गांधीनगर, गुजरात में "हिंदी दिवस-2025 एवं पांचवां अखिल भारतीय राजभाषा सम्मलेन" आयोजित किया गया, जिसमें राजभाषा अनुभाग, केविप्रा के कार्मिकों ने प्रतिभागिता की।

"हिंदी दिवस-2025 एवं पांचवें अखिल भारतीय राजभाषा सम्मलेन" के कुछ अन्य छायाचित्र।

केंद्रीय विद्युत प्राधिकरण की राजभाषा कार्यान्वयन समिति की बैठक श्री घनश्याम प्रसाद, अध्यक्ष, केविप्रा की अध्यक्षता में दिनांक 19 अगस्त, 2025 को केविप्रा मुख्यालय में आयोजित की गई।

केन्द्रीय विद्युत प्राधिकरण की उपलब्धियाँ व समाचार

- विगत तिमाही (जनवरी-मार्च, 2025) के दौरान "क", "ख", एवं "ग' क्षेत्र के साथ किए गए मूल पत्राचार का प्रतिशत क्रमश: 98.94, 97.85 एवं 97.18 प्रतिशत था जो मौजूदा तिमाही में बढ़कर क्रमश: 98.95, 98.48 एवं 97.54 प्रतिशत हो गया। पिछली तिमाही की तुलना में "क", "ख", व "ग" क्षेत्र में पत्राचार में आंशिक वृद्धि हुई है।
- श्री प्रवीण गुप्ता, सदस्य (थर्मल), केविप्रा ने दिनांक 16 सितंबर, 2025 को हैदराबाद में सीआईआई द्वारा आयोजित 'पावर प्लांट समिट-2025' के दौरान एक विशेष भाषण दिया और "थर्मल पावर में दक्षता, नवाचार और लचीलापन बढ़ाना-भारतीय थर्मल पावर प्लांट्स के लिए एक मैनुअल" प्रकाशन का भी शुभारंभ किया।
- STELLAR संसाधन पर्याप्तता उपकरण पर क्षमता निर्माण कार्यक्रम पहल की साप्ताहिक श्रृंखला के अंतर्गत पूर्वोत्तर क्षेत्र के राज्यों के लिए 5वां प्रशिक्षण कार्यक्रम दिनांक 11 और 12 सितंबर, 2025 को केविप्रा में सफलतापूर्वक आयोजित किया गया।

हिन्दी से हिन्दुस्तान है,
तभी तो यह देश महान है,
निज भाषा की उन्नति के लिए
अपना सब कुछ कुर्बान है।

सर्वाधिकार सुरक्षित-

प्रकाशकः
केन्द्रीय विद्युत प्रधिकरण, सेवा भवन, आर. के. पुरम, नई दिल्ली-110066.