Goa State Sponsored Science Magazine by the
Department of Science & Technology and
Waste Management

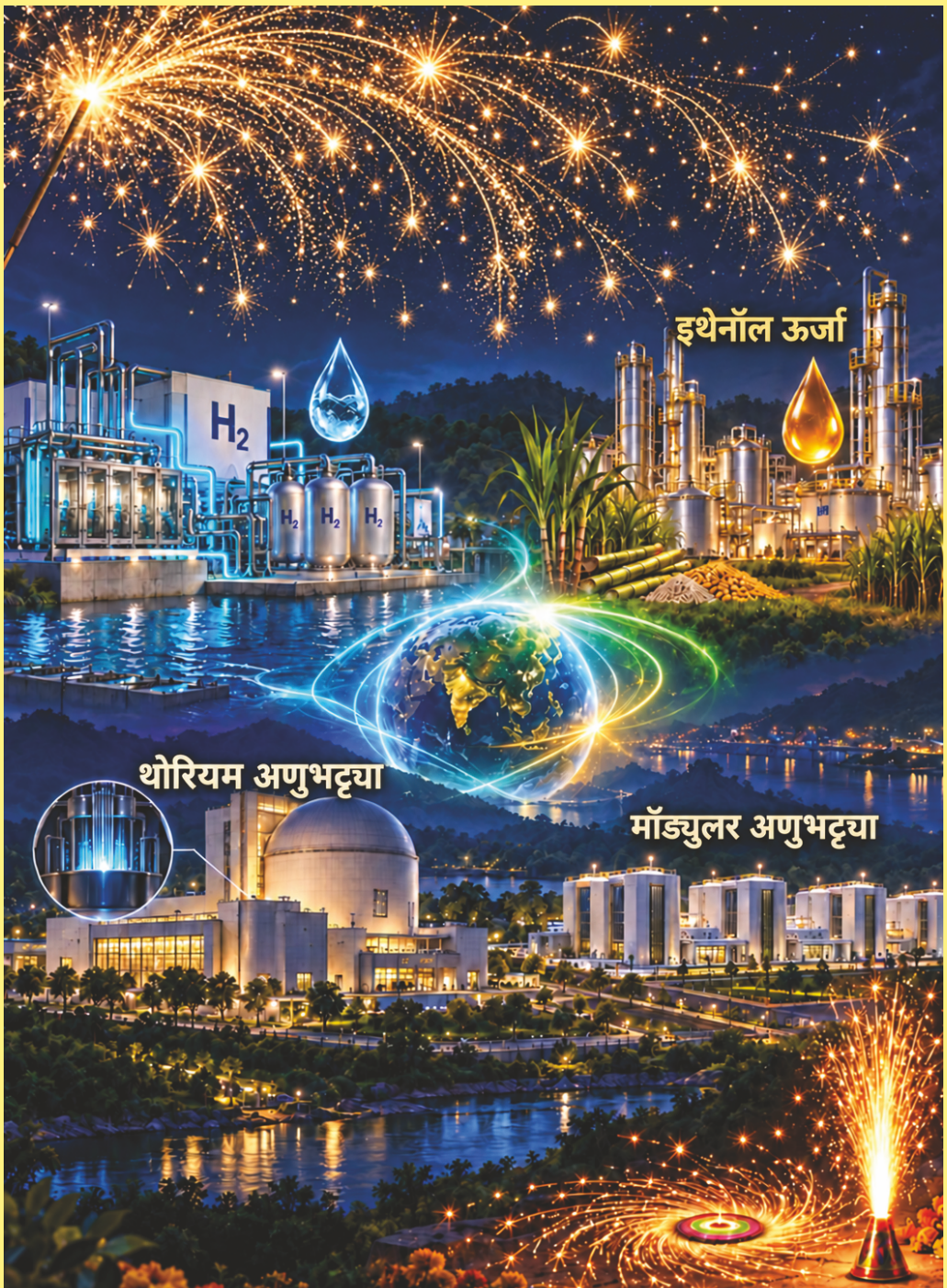
मासिक विज्ञानपुस्तिका

विज्ञानधारा

ऑक्टोबर–नोव्हेंबर २०२६ * मूल्य २०० रुपये

दिवाळी विशेषांक

ऊर्जेची नवी क्षितिजे खुणावत असताना
ऊर्जेची दिवाळी लाभो वाचकांना...



२०२६च्या घनकचरा व्यवस्थापन नियमांनुसार चार प्रकारे कचरासंसाधनांचे वर्गीकरण करणे ही नागरिकांची जबाबदारी आहे



विज्ञानधारा

'ग्रंथाली'ची मासिक पुस्तिका
ऑक्टोबर–नोव्हेंबर २०२६
वर्ष चौथे, पुस्तिका पाचवी
मूल्य २०० रु.

EDITORIAL BOARD
Dr. Pramod Sawant
Hon'ble Chief Minister, Goa (Chairman)
Shri. Prasad Loyalekar
Secretary, Education, Goa
Shri. Sarpreet Singh Gill
Secretary, Environment, Goa
Shri. Polumatla P. Abhishek
Secretary, S&T and Waste Management, Goa
Dr. Sharad Kale
Editor
Arun Joshi
Executive Editor
Sudesh Hinglaspurkar
Co-ordinator (Trustee, Granthali)
Cover Design : AI Generated Image
अक्षरजुळणी : ऑलरीच एन्टरप्रायझेस

कार्यालयीन संपर्क
ग्रंथाली संगणक विभाग
vidnyangranthali@gmail.com
जाहिरात प्रसिद्धी – धनश्री धारप
वितरण – किशोर कांबळे, सौमित्र शिंदे
डिजिटल एडिटिंग – समीर कदम

BHIM UPI
SCAN & PAY
GRANTHALI

केवळ वार्षिक वर्गणी स्वीकारली जाईल.
वार्षिक वर्गणी ५०० रुपये
डिमांड ड्राफ्ट 'ग्रंथाली' नावे किंवा
सोबतचा QR code scan करून.

पत्रव्यवहार/वर्गणी पाठवण्याचा पत्ता
ग्रंथाली, १०१, १/बी विंग, 'द नेस्ट', पिंपळेश्वर को-ऑप. हौसिंग सोसायटी, टायकलवाडी, स्टार सिटी सिनेमासमोर, मनोरमा नगरकर मार्ग, माहीम (प.), मुंबई ४०००१६
फोन : ६८८४२२१२

मुद्रण : इंडिया प्रिंटिंग वर्क्स, इंडिया प्रिंटिंग हाउस,
४२, जी. डी. आंबेकर मार्ग, वडाळा, मुंबई-४०० ०३१

पुस्तिकेसाठी लेख व प्रतिक्रिया पुढील मेलवर पाठवावी.
vidnyangranthali@gmail.com

ऑफिस वेळ : दुपारी १ ते सायं. ६.३०
कार्यालयीन संपर्क/फोन/पुस्तके खरेदी करण्यासाठी

दीपावली

दीपावलीच्या गमतीजमती, मित्रमंडळी भेटती
हास्याची कारंजी फुटती फराळाची रेलचेल किती
आकाशदीपांची रोशणाई अन् पण त्यांची मांदियाळी
दीपावलीची खासियत न्यारी नका हरवू तुम्ही मंडळी!

अंगणातल्या रांगोळीतून पहाट हसते ओली,
पारिजातक उधळीत येतो गंधफुलांची झोळी;
उटण्याच्या दरवळासंगे बालपण येते दारी,
आईच्या मायेची पणती उजळत राही उरी!

किती दिवसांनी जुळुनी आल्या जिवाभावांच्या गाठी,
पुन्हा रंगल्या खोड्या साऱ्या, पुन्हा लाडिक भांडाभांडी;
चिवड्यामधले काजू वेचत हसती डोळे मिश्कील,
लाडवांसवे गोड होतसी अबोल्याचेही बोल!

नको मोजणी भेटवस्तूंची, नको हिशोबही काही,
हातामध्ये हात असावा, एवढीच पुण्याई;
हास्याचे हे दिवे लावुनी उजळू अवघी आळी,
सख्यासोयऱ्यांच्या संगती संपन्न होवो ही दिवाळी!

– शरद काळे

मासिक पुस्तिकेत प्रसिद्ध झालेली मते ज्या त्या व्यक्तीची. 'ग्रंथाली' चळवळीचे 'विज्ञानधारा' हे व्यासपीठासमान मासिक आहे. त्यात सर्व छटांच्या विचारांना स्थान आहे. मात्र त्याच्याशी 'ग्रंथाली' विश्वस्त संस्था व तिचे विश्वस्त सहमत आहेत असे नव्हे.

अनुक्रम

Editorial / ५

Sanjay Jahagirdar / ७
SMRs: The best option for India's Energy Security?

Varsha Kelkar Mane / १५
Pseudogenes: The Fossil Genes in Our DNA

अनघा शिराळकर / २०
हवामान आणि ऊर्जा क्षेत्र

आनंद घैसास / २६
ध्रुवीय 'एपिशेल्फ' सरोवराचा अंत

आनंद घारे / २९
इंधनाची गरज, समस्या आणि पर्याय

डॉ. राजेंद्र देवपूरकर / ३७
पेशीस्तरावर ऊर्जाव्यवस्थापन

हेमंत लागवणकर / ४१
रेल्वे तिकिटावरचा PNR क्रमांक काय सांगतो?

डॉ. जयंत वसंत जोशी / ४४
बॅटरी सेलचे विज्ञान आणि तंत्रज्ञान

डॉ. किशोर कुलकर्णी / ५०
भारतातील सौरऊर्जा प्रकल्पाचा पूर्वइतिहास

नरेंद्र गोळे / ५४
औषधी वनस्पती रसायनशास्त्र संशोधक असीमा चटर्जी

डॉ. रंजन गर्गे / ६०
सूक्ष्मजैविक ऊर्जास्रोत

डॉ. संगीता गोडबोले / ६६
जागतिक पोलिओ दिवस

सुरेश वांदिले / ७०
मंगळावर मुंगी!

डॉ. स्वाती बापट / ७५
इन्सुलिनच्या शोधाचा मागोवा

शरद काळे / ७८
एकविसाव्या शतकातील इंधने

डॉ. वसुधा जोशी / ९८
अन्न आणि ऊर्जा व्यवस्थापन

डॉ. मंजुश्री कुलकर्णी / १०१
वनांचे व्यवस्थापन आणि आरोग्य...

Editorial

Humanity's Energy Journey

Long before human beings developed a scientific understanding of energy, they had begun to experience its power. The Sun gave warmth and light; flowing water moved objects; wind bent trees; and fire could both sustain life and destroy it. When early humans learned to produce sparks by striking suitable stones together, or to generate heat through friction between pieces of wood, they gained the ability to kindle fire deliberately. They could not explain combustion, but they could recognise its usefulness. A small flame offered warmth, protection, light after sunset and the means to cook food. Humanity's long journey towards understanding and harnessing energy had begun.

The desire for a better life gradually widened this search. Human muscle power, fuelled by food, supplied the earliest labour. Domesticated animals extended that capacity. Wind carried sailing vessels across seas, while flowing water turned wheels to grind grain. Wood and charcoal provided heat for pottery and metalworking. Each advance grew from observation, experimentation and the accumulated experience of generations. Energy became woven into agriculture, transport, craftsmanship and the growth of settlements.

For much of human history, these changes unfolded slowly. Knowledge travelled with people, and improvements often took generations to spread. The pace accelerated dramatically with the development of modern science and the Industrial Revolution, during the era of expanding colonial empires. Coal-powered steam engines transformed production and transport. Petroleum, natural gas and electricity subsequently reshaped homes, factories, farms and cities. Advances that had once taken centuries began to occur within decades, and eventually within a single lifetime. Fossil fuels made enormous quantities of concentrated energy available for human use. Coal drove factories and power stations; petroleum powered road vehicles, ships and aircraft; and natural gas supplied heat, electricity and industrial feedstock. These fuels supported agricultural production, modern infrastructure and many familiar comforts. However, their growing use also changed the scale of humanity's interaction with nature. Carbon stored underground over geological timescales was extracted and released into the atmosphere within a brief period. The consequences extended far beyond the places where these fuels were burned.

The environmental damage accumulated through the entire chain of extraction, processing, transport and consumption. Mining disturbed landscapes and habitats. Oil spills contaminated land and water. Combustion released pollutants, including particulate matter, sulphur dioxide and nitrogen oxides, degrading air quality. Carbon dioxide accumulated in the atmosphere, while methane escaping from fossil fuel operations added to warming. The expanding energy economy was placing increasing pressure on the environmental systems that sustain life.

Recognition of these consequences strengthened the search for alternatives. Renewable energy acquired fresh importance, supported by advances in science, engineering and manufacturing. The sunlight and wind that humanity had used for centuries could now be converted into electricity through solar cells and wind turbines. Hydropower, geothermal energy and appropriately managed bioenergy offered further possibilities. These technologies opened opportunities to reduce dependence on fossil fuels, diversify energy supplies and generate electricity closer to where it was needed. The idea of development increasingly came to include the quality of the environment in which people lived.

However, renewable energy sources also have limitations that must be understood realistically. Solar power depends on daylight and weather, while wind power fluctuates with wind conditions; neither necessarily produces electricity when demand is greatest. Their effective use therefore requires suitable storage, transmission networks and complementary sources of power. Hydropower depends on water availability, and large reservoirs can affect river ecosystems and surrounding communities. Bioenergy

requires a dependable supply of suitable biological material, whose production may compete for land and water. Solar panels, wind turbines and batteries themselves require minerals, manufacturing, land and arrangements for recovery and recycling at the end of their useful lives. These limitations do not diminish the importance of renewables, but they remind us that "renewable" does not automatically mean free from environmental consequences. Sustainability must be assessed across the entire life cycle, with attention to local conditions and the reliability of the complete energy system. A sustainable energy system must deliver electricity when people need it, as well as produce it with lower emissions.

This search has renewed interest in hydrogen. Hydrogen is an energy carrier: energy must first be used to produce it, after which it can be stored, transported and used. Its environmental value therefore depends on its production pathway. Producing hydrogen by splitting water with low-emission electricity offers a route to reducing fossil fuel use in certain applications. However, hydrogen made from fossil fuels without effective emission controls carries a substantial carbon burden. Its promise must be assessed alongside the energy required for production, compression, storage and delivery. The most useful applications are likely to be those where direct use of electricity is difficult, rather than every application in which a fuel is currently burned. Ethanol offers another fuel option, but its environmental benefits depend on the feedstock and production process. Assessment must include land and water use, competition with food production, and the energy required for cultivation, processing and distribution.

Nuclear power also has an important place in this discussion. It can provide large quantities of low-carbon electricity without depending on sunshine or wind at the time of generation. Although nuclear electricity is an established technology, the search continues for improved reactor designs, better fuel utilisation and wider applications. Small modular reactors are being developed to offer smaller units and approaches to construction based on modular manufacture. Their potential must be considered together with the practical requirements of safety, regulation, economics and spent-fuel management.

Thorium-based nuclear energy represents another avenue of scientific and technological endeavour. Thorium can serve as a fertile material from which fissile uranium-233 is produced within an appropriate nuclear fuel cycle. Turning this potential into dependable electricity requires the development and integration of reactors, fuel fabrication and fuel-processing technologies. It deserves sustained research and careful evaluation. As with hydrogen and renewable energy, its contribution must be judged through the performance of the complete system, including its demands on resources and the management of its residues.

Humanity's energy journey has thus reached a stage where producing more energy is only one part of the task. We must also use it efficiently, make it accessible and reduce the damage associated with supplying it. New technologies will serve us best when supported by scientific understanding, responsible planning and thoughtful consumption. The pursuit of a better life must include the protection of the natural foundations on which that life depends.

As we celebrate Diwali, the festival of light, this journey deserves reflection. From the first deliberately kindled flame to electricity illuminating our homes, every light has a source and every source has a story. Hydrogen as an energy carrier, ethanol as a fuel, and thorium-based and small modular nuclear reactors now invite scientific examination alongside other energy options. Understanding their possibilities requires equal attention to their limitations, resource requirements and environmental effects. Our pursuit of knowledge must remain rooted in honesty, directed towards the welfare of all, and guided by responsibility towards the natural world. The spark that awakened human curiosity must now illuminate the judgment with which we shape our energy future.

- Sharad Kale
sharadkale@gmail.com



SMRs : The best option for India's Energy Security?

Sanjay Jahagirdar, SEAC Member,
DoE&CC, Government of Goa

Dedication

This article is dedicated with deepest reverence to the Unsung scientists, engineers, and researchers of the Bhabha Atomic Research Centre (BARC). For decades, these brilliant minds have quietly toiled in high-stakes environments – willingly courting radiation exposures and operational risks– to master complex nuclear physics.

Through sheer resilience and a Swadeshi mindset, they forged an indigenous reactor technology path, unlocking the promise of India's abundant thorium reserves to secure the nation's energy future.

Introduction :

On 4th December 2025, Economic Times reported story on nuclear power, this sector is being opened for states and private sector with ambitious target of 100 GW capacity by 2047. The Department of atomic energy has developed small modular reactors (SMR) with power output capacities from 30 MWe to 300 MWe and Micro Modular Reactors (≤10 MWe). These nuclear reactors are based on the advanced technologies with more safety features. (Excellent news for the small state like- Goa, seven sisters of NE and union territories.)

The nuclear power has remained the most popular theme for debates in the educational institutes, parliament and even in UN for several decades. No doubt, there is a negative perception, as Anti-Nuclear Movement periodically happening worldwide, especially in European countries. Even in USA public opinion against nuclear energy has gone below 50%, whenever any untoward nuclear incident has happened.

Opposition to a potential nuclear power plant all over the world stems from fears of nuclear accidents and disasters, concerns over the safe management of radioactive waste, potential health risks, environmental damage, and high costs as well as delays. Let us not get ourselves engaged in the global debate and focus on evidence-based merits / demerits of nuclear energy in the context of our nation.

The Scientific Edge : Energy Density and Fuel Efficiency

We all know the story of the Industrial Revolution that began in Britain around 1780. Prior to that era, mechanical power from running rivers or streams-utilizing a modest 10-meter drop-was harnessed to drive looms. To put that in perspective, a single water molecule falling from a height of 10 meters gains a kinetic energy of just 2 x 10^{-5} eV (though standard 10th-grade physics students typically calculate this in Joules!). In contrast, the chemical combustion of a fossil fuel molecule releases energy on the

BARC's Technological Journey: From Apsara to SMRs

India's atomic energy program stands as one of the world's finest examples of self-reliance, driven step-by-step from early experimental milestones to modern commercial and modular configurations.

- **1956 - The Genesis (Apsara) :** Under the visionary leadership of Dr. Homi J. Bhabha, BARC (then Atomic Energy Establishment, Trombay) designed and built **Apsara**, Asia's first nuclear research reactor. It achieved criticality on August 4, 1956, marking India's entry into nuclear science.
- **1960s-1980s - The Indigenous Heavy Water Path :** Transitioning from research to power, BARC pioneered the **Pressurised Heavy Water Reactor (PHWR)** line. By utilizing natural uranium as fuel and heavy water as a moderator and coolant, India bypassed international cartels, culminating in indigenous commercial power generation (such as at Rawatbhata and Kalpakkam).
- **The Three-Stage Fuel Mastery :** BARC operationalized Homi Bhabha's grand strategic vision-the Three-Stage Nuclear Power Programme :
  - Stage 1: PHWRs producing plutonium.
  - Stage 2: Fast Breeder Reactors (FBRs) utilizing plutonium-uranium mixed oxide fuel to breed more fissile material.
  - Stage 3: Advanced Heavy Water Reactors (AHWRs) and thorium-uranium-233 cycles to exploit India's vast 232-Th reserves.
- **Scaling Up to 700 MWe & 1600 MWe Fleets :** Indigenous technological maturity peaked with the design and deployment of robust **700 MWe PHWR** units (such as those at Kakrapar and Rawatbhata), while paving the baseline design frameworks for larger capacity units up to 1600 MWe.
- **The Modern Frontier - Bharat Small Reactors (BSRs) :** Building upon decades of mastery in compact reactor physics, BARC's current trajectory focuses on **Small Modular Reactors (SMRs)** and Bharat Small Reactors. By opening this space to private industrial participation, India is transitioning its heavy reactor expertise into factory-built, intrinsically safe, transportable micro-units tailored for industrial decarbonization and decentralized grids

order of eV, providing roughly 50,000 times more energy than basic hydropower. When we step into the realm of nuclear energy, the scale leaps exponentially: the fission of a single heavy atom (U-233) triggered by a neutron releases a staggering 200MeV, representing a factor of 106 times over fossil fuel-based generation. (While these three modes of energy generation operate on entirely different physical principles and cannot be directly equated, they illustrate a profound historical pattern: whenever the scale of released energy orders-of-magnitude surged upward, it triggered a brand-new industrial revolution!)

Thus, volume of fuel required will be reduced by the same factor and similar reduction in the volume of waste!! This is precisely an initial thought process of a nuclear scientist while designing the nuclear power project. (The complete fission of 1 kg of uranium-235 produces approximately 8.2×10^{13} Joules of energy. To generate the same amount of energy

by burning coal, approximately 3.4 million kg of coal would be required. Curious readers may work out number of train wagons required to transport this much quantity of coal. Don't outsource this task to AI tools.)

Physics of Nuclear Reactor - Four Factor Formula

Before we probe into the safety related concerns, must consider four factor formula that gives the ratio of neutron produced in one generation to those in the previous generation. (In the nuclear reactor, during fission neutrons are produced as well as absorbed) Well, it is a nuclear science (As difficult as rocket science!!) without going in depth, this formula determines multiplication factor k.

For fission chain reaction, if k>1, then number of neutrons available are more than in the previous generation and fission will go uncontrolled. (Super critical)

If k<1, then number of neutrons available are less than in the previous generation and chain reaction will stop. (Sub critical)

If k=1, then number of neutrons available are equal to number of neutrons in the previous generation and fission is sustained in a controlled manner. (Critical)

(Any nuclear plant becoming critical is moment of extreme joy for the nuclear scientist!)

This k factor is controlled by neutron absorber medium; it could be heavy water or boron rods. Traditionally fission material is in the form of long rods, set in moderating medium. In case k>1, then fission is happening at rapid pace, temperature of reactor will increase that may lead to a runaway effect and the apparatus will be on the threshold of accident. However, the moderator (D_2O) will expand or boil, fission fuel rods will submerge more, k factor is set equal to 1 again.

Why Nuclear energy is still better option?

Without an iota of doubt, nuclear power plant accident effects are related to Long-term health and welfare issues for residents and challenges in decontamination, waste management, and decommissioning. Yet should we go for nuclear power? The answer is **YES**.

1. At present there are more than 435* commercial nuclear power station, many of which operational for 30-40 years and operating under the watchful eyes of the International Atomic Energy Agency (IAEA) and Atomic Energy Regulatory Board (AERB) in India provides a framework for nuclear safety and security regulations. If we work out reactor-years of experience of every reactor it turns out- 2×10^4 and how many accidents have happened? Just 2 major and 1 minor. In India since inception of first nuclear reactor Apsara in 1956, our track record is -zero 'major' accidents, as no radiological consequence were involved or there was core damage that led to explosion in the nuclear reactors.
   (*The current article only focuses on the nuclear power reactors and not research, military and minor reactors)
2. With the advent of AI, complex & effective computer simulation of each event can be done and it is possible to design minimum risk apparatus, considering the 80 years of combined experience in this field.
3. All nuclear reactor disaster is related to sudden temperature rise of the fissile rods. IAEA has recommended three types of components of safety measures. I) A passive component - operates automatically without human intervention (Sprinkler system against fires) ii) An

active component - if outside interference required (Fire brigade) iii) Inherent safety - which is achieved by the choice of material as well as concept. For example, if petrol is to pumped through a pipe system at pressure of 7 bar and at a temperature of 100°C, a small gas leak can cause an explosion, but at 10°C it is unlikely. The advanced nuclear power reactors are designed with this inherent safety factor, to reduce the probability and reduce consequence through passive and inherent safety features. However, no engineered system can legitimately be described as having zero risk. *(Three major reactor accidents in the recent past are- Three Miles Island (1979), Chernobyl (1986) and Fukushima (2011), every science student and engineer must study in minute details the cause and the scale of disaster in each nuclear catastrophe.)*

To be or not to be kind of dilemma, Policy makers and stake holders will always have but not nuclear scientists. They design and build reactors not only by learning Concepts of Physics but considering acceptable risk and dealing with global uncertainties.

When conventional energy resources and also several new & renewable energy options are available, then why go for nuclear? We can 'zero in' on a particular energy technology by weighing it first on environmental factors including health safety then on economics.

Table 1 : Coal, PV and Nuclear Power energy technologies judged on the scale of 1-5 for environmental effect. Negligible:1, Significant:2, Moderately significant: 3, Largely Significant: 4, Very highly significant: 5

Let us consider three energy technologies - Coal, Photovoltaic and Nuclear and compare on the environmental criteria to judge the winner. (Refer Table 1)

Environmental / Impact Criteria	**Coal**	**Photovoltaics (Solar PV)**	**Nuclear Power**
1. Acid Pollutant (SOx, NOx emissions)	5	1	1
2. Global Warming (Lifecycle GHG emissions)	5	2	1
3. Human Health & Safety (Air pollution, operational safety)	5	2	2
4. Catastrophe (Risk of low-frequency, high-consequence failure)	2	1	4
5. Waste Disposal (Volume & toxicity of waste generated)	4	3	2
6. Visual Intrusion (Landscape and aesthetic alteration)	4	3	3
7. Noise (Operational noise pollution)	3	1	2
8. Land Requirement (Footprint per TWh generated)	3	5	1

Table 1 : Coal, PV and Nuclear Power energy technologies judged on the scale of 1-5 for environmental effect. Negligible: 1, Significant:2, Moderately significant: 3, Largely Significant: 4, Very highly significant: 5

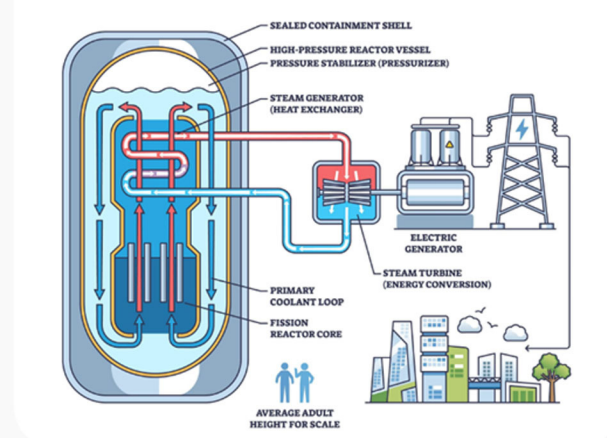
Each energy source is judged on the scale starting from 1 (negligible) to 5 (Large). The marks assigned to each criterion depends upon individual's judgement. For example, supporters of PV technology may not agree with 3 marks assigned to criterion of waste. But, do we have technology to dispose of solar panels safely once their life span is over? Majority of readers will be shocked to see 2 marks being assigned for the same criterion for nuclear power!! No mark scam here!! Solar panel debris plus e-waste is huge as compared to the quantity of radioactive waste. According to estimates* of 10 nuclear power station from Britain annually produce 0.84 L of radioactive waste per person per year (Comparison can be made with contents of a bottle of wine!) hardly 3% is long lived. (* David J.C. MacKay's book Sustainable Energy - without the hot air, published by UIT Cambridge in 2009)

Nuclear power produces a relatively small physical volume of highly regulated radioactive waste compared with the enormous mass of fossil-fuel wastes, but the radioactive waste requires specialised containment, monitoring and long-term management.

Bharat Small Modular Reactor

The Bharat Small Modular Reactor (BSMR) is an advanced, indigenous nuclear reactor series jointly developed by the Bhabha Atomic Research Centre (BARC) and the Nuclear Power Corporation of India Limited (NPCIL).

SMR is not simply to make a nuclear reactor smaller, but the more important idea is to change how nuclear plants are manufactured, financed, deployed, operated, and-often-how they achieve safety. As in case of the large reactors (1000-1600 MWe), the controlled nuclear chain reaction remains 'core' principle of SMR (30 MWe-300 MWe), except the fact that quantity of fuel required is less. The apparatus encapsulates fuel rods, control rods, pressurizer, and steam generator inside a single compact Reactor Pressure Vessel (RPV). This integrated design allows natural circulation cooling and eliminates external primary piping, significantly reducing loss-of-coolant accident (LOCA) risks.



Integrated SMR Layout. Source: VectorMine / Getty Images

One important reason is that the traditional nuclear industry's strategy of economy of scale has a downside. A 1000-1600 MWe reactor is an enormous civil-engineering project. Construction delays and financing costs can become very consequential because billions of dollars are committed before electricity is produced.

SMRs propose a different economic philosophy, from scaling down the economy aim for multiplying economy. Does it sound weird? No, rather small is beautiful!! Instead of constructing one enormous reactor almost entirely as a unique project, the hope is to manufacture many standardized reactor modules repeatedly in factories.

Let us turn our focus to Physics advantage, particularly dimension analysis, to understand why SMRs are efficient. Consider a cubical nuclear reactor having length L. Then it's volume and surface area is proportional to L^3 and L^2 respectively. If we take ratio of Surface Area to Volume, it will be 1/L.

If we scale down length of the reactor, then the ratio will increase. A smaller reactor consequently has more surface area relative to its volume. Together with its lower total thermal inventory, this can make passive removal of decay heat easier to engineer. A 100-300 MW-class reactor could potentially supply electricity while its thermal energy supports hydrogen production, desalination, industrial steam or other process heat, depending on reactor outlet temperature and regulatory/economic feasibility.

Well by reducing the size of nuclear reactor, engineering of heat harnessing is simplified, but there is a problem of neutron leakage. This may lead to disruption of neutron balance in a thermal reactor turning reactor core subcritical, as multiplication factor k<1. There is another issue of geometrical buckling, basically it's diffusion equation in cylindrical coordinate system that computes neutron flux in the core of reactor. Higher geometrical buckling means more neutron leakage. Consequently, an SMR design engineer has to compensate through smart combination of geometry of the core, providing neutron reflector material around the core. Suitable materials used as neutron reflector depend upon the type of reactor. In thermal reactors these may include water or graphite; other reactor concepts use different reflector materials. A reflector effectively makes the core appear 'neutronically' larger than its physical dimensions.

One more design aspect of nuclear reactor, that has to be addressed cautiously, is how to drain out decay heat, after nuclear reactor is shut down. This concern is in the forefront because of nuclear disaster at Chernobyl and Fukushima.

To shut down the reactor, control rods are pushed inside the core so that the fission chain reaction collapses rapidly. But radioactive fission products continue to decay and still Preactor is substantial. Immediately following shutdown, decay heat is initially several percent of the previous operating thermal power and then falls strongly with time.

SMRs change the safety philosophy as the reactor core having large surface area, employing passive systems (involving pumps driven by external power source & plumbing accessories) decay heat can be removed at a faster rate.

Dear readers, is it possible to remove decay heat without pumping coolants? (Remember in case of Fukushima nuclear disaster, diesel generators were deployed to operate pumping system. But to 10 m Tsunami wave soon they got disabled. As planned in case of contingency, a set of batteries took over the role, but exhausted after 8 hrs.) Answer is YES! Natural circulation of coolant.

The decay heat in the reactor is transferred to a coolant in the vertical vessel, turn it less dense and force it to rise to the top of the vessel. More dense coolant will occupy the bottom of the vessel. The density difference creates a hydrostatic driving pressure. The resulting circulation continues until this pressure head balances frictional losses. Thus, removal of decay heat is designed around natural forces!!

Nuclear reactors possess another beautiful piece of physics. Nuclear reactor physicist has introduced a term - reactivity, which is defined by mathematical equation -

$$\text{Reactivity} = \frac{(k-1)}{k}$$

Where k is multiplication factor. When k=1, then reactivity will be zero. When k<1 and k>1, then the reactivity will be negative and positive respectively, indicating neutron population declining and growing in the reactor.

The reactor is designed for negative temperature feedback, if temperature of the core increases, then reactivity becomes negative and fission power too is reduced.

There are many more wonderful design aspects based on the principles of Physics, not possible to cover in one article.

Molten-salt Thorium SMR

After elaborate discussion on SMR, readers may ask the most appropriate question about the requirement of fuel and its availability in India.

SMRs require higher enrichment levels of U-235 to maintain long operating cycles and India has relatively small and low-grade reserves of Uranium.

Then what is the other option? India has rich deposits of Th-232, non-fissile but fertile fuel that can be used in Fast breeder reactor! (A fast breeder reactor is an advanced nuclear power plant that produces more nuclear fuel than it burns while generating electricity! Th-232 absorbs a neutron and get transformed in U-233 which is an excellent fissile isotope.)

Why Thorium isn't the primary SMR fuel?

$$^{232}Th + n \rightarrow ^{233}Th \xrightarrow{\beta^-} ^{233}Pa \xrightarrow{\beta^-} ^{233}U$$

Due to neutron economy, enough neutrons are not available to produce U-233 fissile atom. Thorium-based SMR concepts exist primarily as Molten Salt Reactors (TMSRs) or advanced Fast Breeder SMRs, but these remain in research or demonstration stages rather than immediate near-term deployments.

India has just crossed an important milestone: its indigenous 500-MWe Prototype Fast Breeder Reactor (PFBR) at Kalpakkam achieved first criticality on 6 April 2026. It uses U-Pu MOX fuel and a U-238 blanket; DAE says the design ultimately envisages using Th232 in the blanket to produce U-233.

If Th232 is used as a fuel, then what modifications need to be done in the design of SMR. Where do the neutrons come from to manufacture the first substantial inventory of U-233? That is the famous bootstrap problem of the thorium cycle.

India's three-stage strategy essentially addresses it:

The breeder therefore acts partly as a fissile-material factory.

$$\boxed{\text{PHWR}} \rightarrow \boxed{Pu} \rightarrow \boxed{\text{FBR}} \rightarrow \boxed{^{233}U} \rightarrow \boxed{\text{Th–}^{233}U \text{ reactors}}$$

Then shrink the size fast breeder reactor (FBR), with core containing fissile material such as Pu-based fuel, surrounded by fertile material. But this shrinking of core size creates a problem of neutron shortage. As the nuclear reactor gets smaller, the neutron leakage increases.

I would like to ask very interesting question at this point. To ensure sustained nuclear chain reaction in FBR, should multiplication factor k = 1? NO, we need supercriticality (k>1) in FBR as we need more neutrons to produce fissile atoms. That's why nuclear science of reactors is as difficult as rocket science!

Therefore, as FBR-SMR faces competing requirements, may be an intermediate range 100-300 MWe where modularity and passive safety remain attractive without making neutron economy excessively difficult.

Next moot point is the type of coolant. India's existing fast-reactor expertise is based substantially on liquid sodium cooling. Why sodium? Fast reactors do not want the coolant strongly moderating neutrons. Water is excellent at slowing neutrons, but Sodium is much less moderating. It also has excellent heat-transfer characteristics and a very high boiling point, permitting operation at comparatively low pressure. But sodium introduces its own problem, as it reacts vigorously with water and air, hence power-conversion system deserves careful engineering reconsideration.

Core IAEA Framework & Guidelines for SMRs and MMRs

To support the rapid global interest and private sector entry into SMR/MMR deployment, the IAEA established the SMR Regulators' Forum and the IAEA Platform on SMRs, establishing clear regulatory benchmarks. For the large nuclear reactors, the conditions are very stringent, as they have to maintain a buffer zone of 10 -16 km radially from the location of plant!! For some SMR designs, the emergency planning zone may potentially be reduced substantially, subject to the reactor's source term, safety analysis, site characteristics and national regulatory requirements." Rest of the guidelines are pertaining to fuel transport and handling, intrinsic safety features, Plant's radiological risk profile and radioactive waste disposal.

Concluding Thoughts

I began the article referring story from Economic Times, I will end with the editorial comments - "Nuclear power occupies a unique position in India's energy matrix. While variable renewables (solar and wind) provide low-cost, rapid-build energy, nuclear energy offers continuous, base-load power with near-zero greenhouse gas emissions. India's ambition to achieve Net Zero by 2070 and expand nuclear capacity to 100 GW by 2047 hinges on treating nuclear energy as an essential core, rather than a standalone savior."

To substantiate these comments, I would like to compare again three technologies- coal, Photo Voltaic and Nuclear power on three factors from the view point of economics.

Why 'modular' is added to small size nuclear reactor? Imagine demand is 600 MWe. Instead of having one large nuclear reactor, six modules of small reactors of 100 MWe are set up. In case of losing one unit removes only 16.7% plant output rather than the whole station. Similarly, maintenance can potentially be staggered & also one module can be refuelled while others continue operating.

As already mentioned in the opening paragraphs, there is a local & global opposition to nuclear energy by the public. In this context, the psyche of human beings is precisely described by Egbert Boekar & Rienk Grondelle, author of "Environmental Physics: Sustainable Energy and Climate change" -

"On a private basis people do not always calculate risks and adjust the life style accordingly. The risks of smoking for example or more than 3 glasses of wine per day are real, but do not prevent many people to use these stimulants. The point of course that people to take these risks while they rely on the government to protect them against industrial and natural risks."

Recent legislative updates, such as the SHANTI Act, have opened up civil nuclear generation to private enterprises, encouraging major industrial conglomerates to invest in co-developing Bharat Small Reactors (BSRs) and Small Modular Reactors (SMRs). These legislative efforts will ensure energy security and also keep stakeholders happy by supplying power at subsidized rate.

Giga $ Q: Whether private players are ready to invest in R & D in SMR, MMR or TSMR or import tailor made technology?

Hoping in 2047, India's broader target to reach 100 GW of nuclear capacity.

- Sanjay Jahagirdar
sanjayjahagirdar2012@gmail.com



Pseudogenes : The Fossil Genes in Our DNA

Varsha Kelkar Mane

What the 20,000 genes that build our proteins don't tell you about the other 98.5% of the human genome!

Genes : The Instruction Manual of Life

We all know what genes are, or at least we think we do. They are the units of heredity we inherit from our parents, and they carry the information that specifies our physical and biological traits. They explain why we resemble our parents and grandparents, and occasionally a distant relative we see only at family gatherings.

Most genes work by coding for proteins, or for segments of proteins, each with a different job in the body. When the Human Genome Project finished reading our DNA, it delivered a surprise: humans have only about 20,000 protein-coding genes, far fewer than the 100,000 many scientists had expected. More surprising still, those 20,000 genes take up just 1.5% of the entire human genome.

So What Is the Other 98.5% Doing?

That leaves an obvious question: what is the remaining 98.5% of our DNA for? Major reference databases such as GENCODE catalogue tens of thousands of non-coding sequences, and they fall into three broad groups:

- Long non-coding RNAs (lncRNAs): more than 35,000 annotated loci that regulate gene expression, transcription and the organisation of chromatin.
- Small non-coding RNAs (snRNAs, snoRNAs, miRNAs, tRNAs): roughly 7,600 annotated genes responsible for splicing, chemical modification and the control of translation.
- Pseudogenes: about 14,700 genomic sequences that resemble working genes but have been inactivated by mutation, although some of them still keep regulatory roles.

In short, the non-coding regions of the genome act as the regulators, operators, promoters and repressors that control how the protein-coding regions are expressed, both before and after transcription. Of those three groups, one is particularly intriguing: the pseudogenes.

What Exactly Is a Pseudogene?

A pseudogene is, in the simplest terms, a broken copy of a gene. Pseudogenes typically arose when a gene was duplicated, or copied back into the genome from an RNA message, and then accumulated mutations over many generations of evolution. Those mutations struck the critical parts of the sequence, so the pseudogene can no longer be read into messenger RNA or translated into a protein. Think of them as fossils embedded in our DNA: molecular records of genes our ancestors once used.

They matter for two very different reasons. First, they are a window into the past, and studying them helps scientists reconstruct the evolutionary history of an organism's genome.

Second, they are a practical problem: the presence of one or more pseudogenes can complicate genetic testing, so testing laboratories use techniques that make it possible to tell a real gene apart from a highly similar pseudogene (National Human Genome Research Institute). Even though they make no proteins of their own, many pseudogenes are transcribed into non-coding RNAs (ncRNAs) that influence functional genes through several distinct pathways.

What If We Could Switch Them Back On?

Here the story turns speculative, and a little unsettling. If humans could suddenly express their pseudogenes, the damaged, fossilised sequences that were switched off during our evolution, we would unlock a strange mixture of primal survival traits, lost biological tools and potentially severe medical risks. The reason is simple: pseudogenes are the genetic remnants of our evolutionary ancestors, and turning them back on could reactivate traits we left behind millions of years ago.

Primal Survival Traits and Sharper Senses

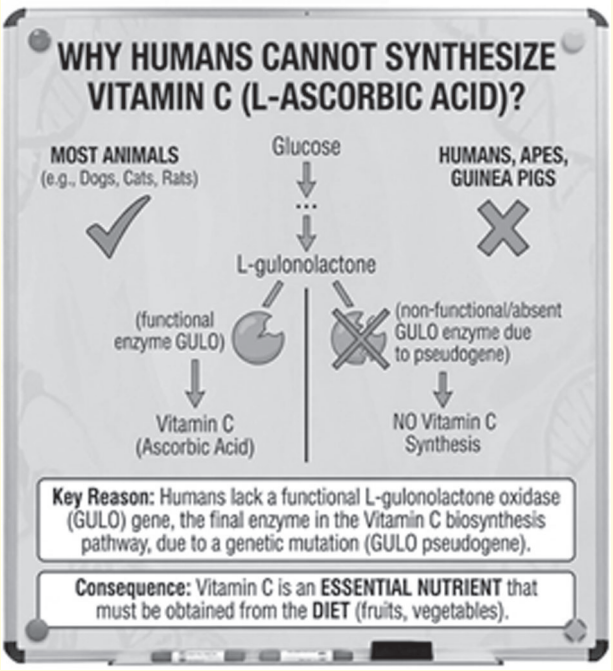


Fig 1. The lacking enzyme that makes us dependent for an external source of Vitamin C

- Making our own vitamin C : humans are among the few mammals that cannot produce vitamin C, because we carry a broken pseudogene called GULO (fig 1). Switching it back on would mean we no longer need dietary vitamin C to prevent scurvy.
- A superhuman sense of smell: more than half of our odour receptor genes are pseudogenes (Fig 2). Reactivating them could give us the ultra-sharp sense of smell of a dog or a bear, allowing us to track scents and detect subtle chemical changes in the environment.
- Sharper night vision: we still carry remnants of genes used by our nocturnal ancestors. Waking them up could vastly improve our low-light vision, although it

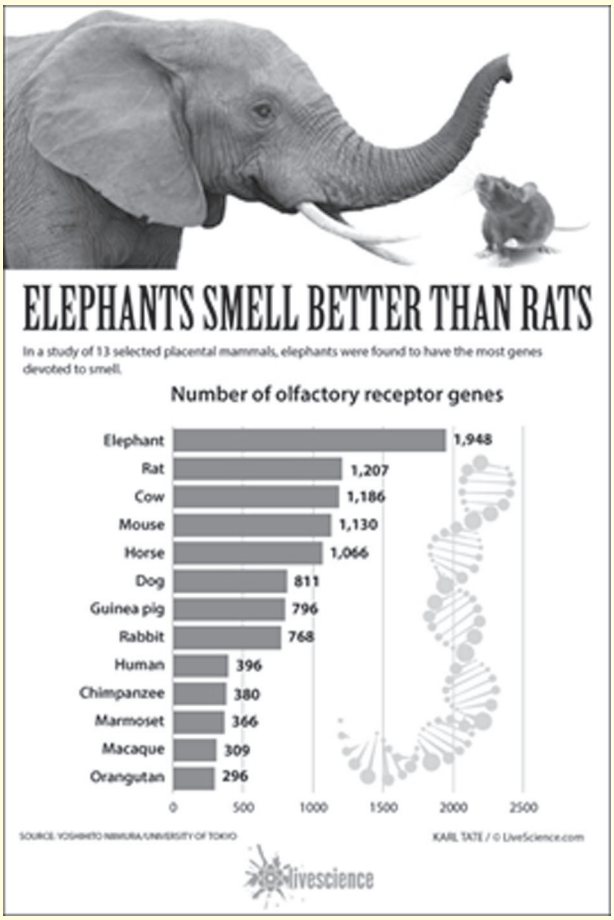


Fig 2. Comparison of olfactory genes in Humans vs other animals

might come at the cost of our advanced colour perception.

Anatomical Throwbacks

- A denser coat of hair: activating dormant hair-follicle genes could produce thick, full-body fur, a natural insulation against extreme cold.
- Claws and a tail: subtler skeletal changes could emerge. The genetic blueprints that once controlled tail development, or sharper keratinised nails, could reactivate and alter the structure of the hands, the feet and the coccyx.
- Egg-yolk proteins: humans still carry fragments of the VIT1 gene, which ancestral mammals used to make egg yolk. It would not make us lay eggs, but expressing it could disrupt placental development or change reproductive biology altogether.

The Dangerous Side Effects

In reality, evolution turned these genes off for a reason, and reactivating them would most likely cause chaotic biological malfunctions:

- Massive cancer risk: many pseudogenes are silenced precisely because they are mutated copies of ordinary genes. If expressed, they could create misfolded proteins that disrupt cell division and lead to aggressive tumours.
- Autoimmune chaos: the immune system would not recognise these "new" ancient proteins. It would most likely treat them as foreign invaders, triggering widespread, systemic autoimmune disease.
- Metabolic overload: building hundreds of new proteins would demand an immense amount of energy, sharply increasing the human calorie requirement.



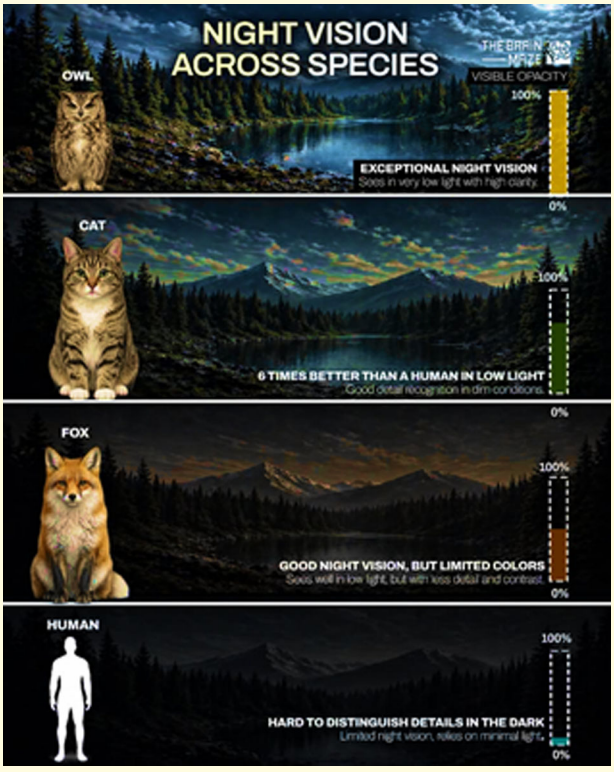


Fig 3. A comparative nocturnal vision

A Case Study: How Many Smells Can You Smell?

Nowhere is the pseudogene story clearer than in our sense of smell. Olfactory receptor (OR) genes are the basis of olfaction and form the largest mammalian gene superfamily, with more than 1,000 genes. In humans, over 60% of them are pseudogenes. The mouse repertoire, by contrast, is roughly equal in size but contains only about 20% pseudogenes.

Is that high fraction of non-functional OR genes specific to humans, or is it a common feature of all primates? To find out, researchers

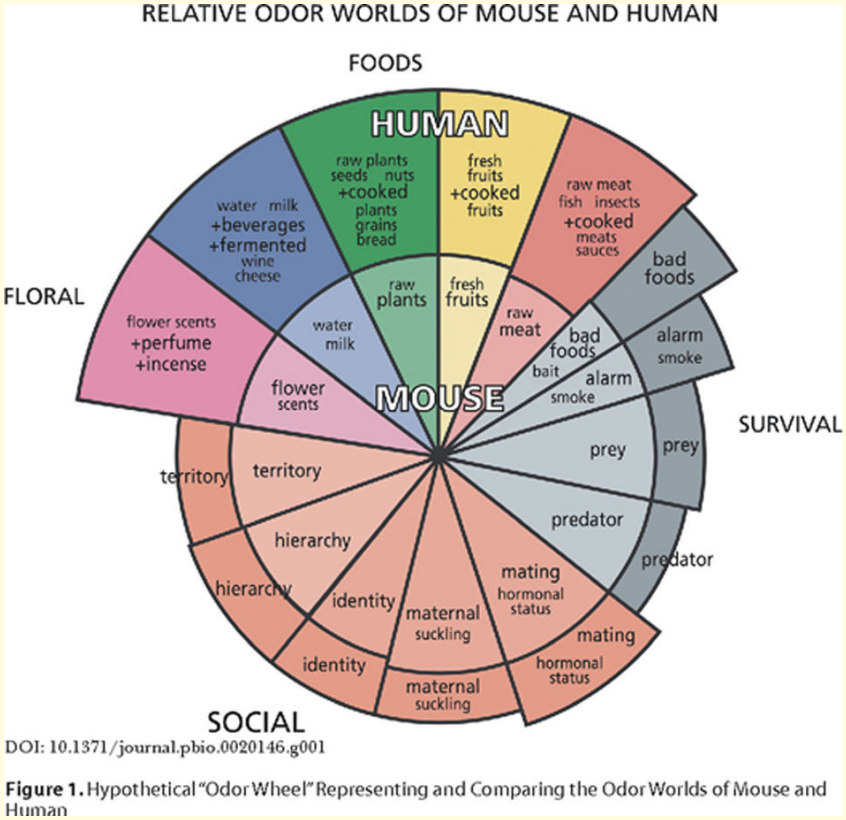


Figure 1. Hypothetical "Odor Wheel" Representing and Comparing the Odor Worlds of Mouse and Human

compared the sequences of 50 human OR coding regions, regardless of how they had been annotated, with their counterparts in chimpanzees, gorillas, orangutans and rhesus macaques. The answer was striking: humans have accumulated mutations that disrupt OR coding regions roughly four times faster than any other species in the comparison. As a consequence, the proportion of OR pseudogenes in humans is almost twice as high as in the other primates, pointing to a human-specific loss of olfactory genes, most likely because we depend on chemosensory cues far less than our ape relatives do.

That fits a broader pattern. Compared with many animals, humans have fewer olfactory receptor genes, fewer scent receptors in our noses, and less of our brain dedicated to smell. Our vomeronasal (Jacobson's) organs are vestigial, which prevents us from detecting pheromones, and smell simply does not play as central a role in our lives. Yet we may be underestimating ourselves.

Humans can be trained to follow a scent trail, thanks in part to our stereo sense of smell, and there are odours we are unusually good at detecting. We beat dogs, who otherwise trounce us in the smell Olympics, at picking up certain fruits and flowers, and we beat mice at detecting human blood.

Other species, though, play in a different league. A team of Japanese researchers studying olfactory receptor genes found that elephants have the most documented OR genes of any animal examined so far: the African elephant genome contains nearly 2,000 functional OR genes, five times more than humans and more than twice as many as dogs.

Both African and Asian elephants are particularly good at smelling water, which they can detect from up to 12 miles (nearly 20 km) away, and a 2007 study even found that African

elephants can distinguish between members of two tribes in Kenya, only one of which hunts them, partly on the basis of smell.

In Conclusion: The Broken Genes Still Matter

Pseudogenes began as an accident of evolution: duplicated genes that decayed, letter by letter, until they could no longer be read. For decades that decay earned them the label of junk DNA and a place outside the serious business of biology. The picture that has emerged since is far more interesting. Some pseudogenes still regulate the genes around them, acting as decoys, silencers and antisense partners, while others are living records of what our ancestors could once do, from making their own vitamin C to growing a tail.

That double nature is what makes them worth knowing about. A genome, it turns out, is not a tidy set of instructions but an archive: layered, redundant and full of half-erased text. Pseudogenes also matter in everyday practical terms.

The lesson is not that pseudogenes are useless leftovers, nor that they are hidden superpowers waiting to be switched on. It is that "broken" and "unimportant" are not the same thing. In the 98.5% of our DNA that does not code for protein, sequences like these are quietly shaping how our genes behave, and telling us where we came from.

– वर्षा केळकर–माने
varshakelkar@hotmail.com

ग्रंथाली

१०१, १/बी, 'द नेस्ट', पिंपळेश्वर सोसायटी, टाकलवाडी, मनोरमा नगरकर मार्ग, स्टारसिटीसमोर, माहीम (पश्चिम), मुंबई ४०००१६.
दूरध्वनी : (०२२) ६८८४२२१२ । Email - granthali01@gmail.com

ग्लोबल साहित्य सफर भाग - ३

राजीव श्रीखंडे लिखित
सोबत त्यांचे अभिजात साहित्याचे अक्षरविश्व
आणि ग्लोबल साहित्यसफर भाग १-२
अभिजात जागतिक साहित्याचे रसग्रहण करणारे चार ग्रंथ.
पाच शतकांतील नामवंत साहित्यिकांच्या ७२ कलाकृतींचे
रसग्रहण... सोबत त्या त्या लेखकाचे जीवन, तत्कालीन
राजकीय, सामाजिक-सांस्कृतिक स्थिती याची ओघवत्या शैलीत
ओळख करून देणारे, ग्लोबलायझेशनच्या काळात तरुणांना
जागतिक साहित्यभान देणारे महत्त्वाचे ग्रंथ...



एकत्रीत ४ ग्रंथ मूल्य रु. २०५० - सवलतीत रु. १०००



हवामान आणि ऊर्जा क्षेत्र

अनघा शिराळकर

आपल्या सभोवतालच्या सर्व हालचाली आणि विविध कामे घडवून आणणारी शक्ती म्हणजे ऊर्जा. कोणतेही काम करण्यासाठी ऊर्जा आवश्यक असते. ऊर्जा क्षेत्रामध्ये विविध प्रकारच्या व्यवसायांचा समावेश होतो. यामध्ये तेल आणि नैसर्गिक वायू उत्खनन करणाऱ्या संस्था, वीजनिर्मिती करणाऱ्या संस्था, ऊर्जेची खरेदी-विक्री करणाऱ्या आणि नवीन प्रकल्पांमध्ये गुंतवणूक करणाऱ्या वित्तीय संस्था इत्यादी. आपले दैनंदिन जीवन, शेती, उद्योग, वाहतूक, आरोग्यसेवा, शिक्षण, दळणवळण इत्यादी क्षेत्रांमध्ये ऊर्जेची भूमिका महत्त्वाची आहे. नवीन तंत्रज्ञानाची सतत निर्मिती होत असल्यामुळे त्यासाठी लागणारी ऊर्जा क्षेत्रे विकसित होत असून त्यांचा अनेक क्षेत्रांशी घनिष्ठ संबंध असतो. ऊर्जा ही देशाच्या विकासाचा आधार आहे. अनेक स्रोतांपासून ऊर्जा निर्मिती केली जाते.



ऊर्जेचे प्रकार तिच्या स्रोताप्रमाणे ठरतात. सौर ऊर्जा, पवन ऊर्जा, जलविद्युत ऊर्जा, औष्णिक ऊर्जा, जैव ऊर्जा, विद्युत ऊर्जा, रासायनिक ऊर्जा आणि अणु ऊर्जा हे ऊर्जेचे प्रकार.

सौर ऊर्जा ही सूर्यापासून मिळणारी ऊर्जा असून ती पर्यावरणपूरक असल्याने प्रदूषणमुक्त आणि न संपणारी म्हणजेच अक्षय ऊर्जा आहे. सौर पॅनेलच्या साहाय्याने तिचे विद्युत ऊर्जेत रूपांतर केले जाते. पवन ऊर्जा ही वाऱ्याच्या शक्तीपासून निर्माण होते. ही ऊर्जा पवनचक्क्यांच्या मदतीने तयार केली जाते. जल ऊर्जा ही पाण्याच्या शक्तीचा वापर करून निर्माण केली जाते. औष्णिक ऊर्जा ही कोळसा, नैसर्गिक वायू आणि इतर इंधन जाळून मिळणाऱ्या उष्णतेपासून निर्माण केली जाते. जैव ऊर्जा ही वनस्पती, प्राण्यांचे अवशेष आणि सेंद्रिय कचऱ्यासारख्या जैविक पदार्थांपासून तयार केली जाते.

जलविद्युत ऊर्जेमध्ये पाण्याचा नैसर्गिक प्रवाह, वेग किंवा उंचीवरून पडण्यामुळे निर्माण होणारी ऊर्जा वापरून यांत्रिक यंत्रणा किंवा टर्बाइन चालवली जाते. ही ऊर्जा विद्युतचुंबकीय प्रेरण (Electromagnetic Induction) या तत्त्वावर तयार केली जाते, यामध्ये यांत्रिक ऊर्जेचे रूपांतर विद्युत ऊर्जेत होते. त्यासाठी औष्णिक आणि जलस्रोतांचा वापर प्रामुख्याने केला जातो. औष्णिक ऊर्जेमध्ये उष्णतेचा वापर करून उच्च दाबाची वाफ तयार केली जाते. ही वाफ टर्बाइन फिरवते आणि टर्बाइनला जोडलेल्या जनित्राद्वारे (Generator) विद्युत ऊर्जा निर्माण केली जाते.

सौर ऊर्जा, पवन ऊर्जा, जल ऊर्जा आणि जैव ऊर्जा यांचे स्रोत तुलनेने पर्यावरणपूरक असून ते निसर्गात सदैव उपलब्ध असतात. रासायनिक ऊर्जा म्हणजे पदार्थांमधील अणू आणि रेणूंच्या रासायनिक बंधांमध्ये साठवलेली ऊर्जा. अणू एकत्र येऊन रेणू किंवा संयोग तयार होतात, तेव्हा त्यांच्यात रासायनिक बंध तयार होतात. या बंधांमध्ये साठलेली ऊर्जा म्हणजे रासायनिक ऊर्जा. उदाहरणार्थ, अन्न, पेट्रोल, डिझेल, बॅटरी, लाकूड, कोळसा, इत्यादी. अणु ऊर्जा ही अणूच्या केंद्रकातून मिळते. अणूचे विखंडन (nuclear fission) करून अणुऊर्जेची निर्मिती केली जाते. युरेनियम व प्लुटोनियम यांसारख्या किरणोत्सर्गी धातूंच्या अणूच्या जड केंद्रकाचे विभाजन केल्याने प्रचंड ऊर्जा बाहेर पडते.

ऊर्जा स्रोत हे पारंपारिक आणि अपारंपारिक या दोन प्रमुख प्रकारात येतात.

पारंपारिक ऊर्जा स्रोत

निसर्गात उपलब्ध असलेल्या व वर्षानुवर्षे वापरल्या जाणाऱ्या मर्यादित व अनवीनीकरणीय (non-renewble) ऊर्जा स्रोतांना **पारंपरिक ऊर्जा स्रोत** (Conventional Energy Sources) असे म्हणतात. लाकूड, कोळसा, पेट्रोलियम, नैसर्गिक वायू यांसारखी जीवाश्म इंधने, जलविद्युत आणि अणुऊर्जेसाठी युरेनियम व प्लुटोनियम धातू हे पारंपरिक ऊर्जा स्रोत असून त्यांचा वापर मोठ्या प्रमाणावर होत असतो. हे स्रोत निसर्गात मर्यादित स्वरूपात उपलब्ध असल्याने ते संपुष्टात येऊ शकतात. जीवाश्म इंधनाच्या ज्वलनाने हवेचे प्रदूषण होते.



पारंपारिक ऊर्जा स्रोत

अपारंपरिक ऊर्जा स्रोत

सौर ऊर्जा (solar energy), पवन ऊर्जा (wind energy), जैव ऊर्जा (biomass energy), समुद्री लाटांची ऊर्जा (Ocean waves energy), भूऔष्णिक ऊर्जा (geothermal energy), हे अपारंपारिक ऊर्जा स्रोत (Nonconventional Energy Sources) आहेत. हे स्रोत निसर्गात सदैव उपलब्ध असतात व ते नवीनीकरणीय (renewable) असतात. यांच्यामुळे प्रदूषण होत नसल्याने ते पर्यावरणपूरक असून ते शाश्वत विकासासाठी फारच उपयुक्त ठरले आहेत. पारंपरिक ऊर्जा स्रोत मर्यादित असल्यामुळे अपारंपरिक ऊर्जा स्रोतांचा वापर वाढत आहे.

हवामान आणि उर्जा

अती उष्ण किंवा अती थंड हवामानाच्या काळात विजेच्या वापरात वाढ होऊन तिची मागणी वाढते. निवासी घरे, हॉटेले, कार्यालये इत्यादींच्या इमारतींमध्ये तापमान नियंत्रणासाठी वातानुकूलित यंत्रणा वापरली जाते. कारखान्यातील यंत्रसामग्री, कार्यालयातील संगणक व त्याला लागणाऱ्या इतर यंत्रणा, रुग्णालयामधील विविध उपकरणे, चाचण्यांसाठीची यंत्रसामग्री, शस्त्रक्रियाविभाग यांच्या सक्षम कार्यासाठी योग्य तापमानाची गरज असते. तापमानाला संवेदनशील असणारे अन्न, दुग्धजन्य व इतर खाद्यपदार्थ यांच्या सुरक्षिततेसाठी योग्य तापमानाची गरज असते. बाहेरील वातावरणाच्या स्थितीनुसार विजेची मागणी ठरते.



अपारंपरिक ऊर्जा स्रोत

भौगोलिक स्थितीवरही ऊर्जेची मागणी ठरते. उच्च अक्षांशाच्या प्रदेशांमध्ये उन्हाळ्याच्या तुलनेत हिवाळ्यात ऊर्जेची मागणी अधिक असते, कारण थंडीच्या महिन्यांमध्ये घरे आणि व्यावसायिक इमारती गरम ठेवण्यासाठीच्या यंत्रणांना अधिक ऊर्जेची आवश्यकता असते. विषुववृत्ताजवळील प्रदेशांमध्ये याच्या उलट परिस्थिती असते. तेथे उन्हाळ्यात घरांमध्ये आणि इतर व्यवसायांच्या इमारतींमध्ये शीतकरणासाठी ऊर्जेची मागणी वाढते.

ऊर्जेची वाढती गरज आणि हवामानबदलाची समस्या लक्षात घेता सौर, पवन आणि जैव ऊर्जेसारख्या अपारंपरिक व नवीनीकरणीय ऊर्जा स्रोतांचा वापर वाढवणे आवश्यक आहे. या सर्व स्रोतांवर हवामानाचा परिणाम होत असतो. परंतु तो सारखा होत नाही. काही ऊर्जा स्रोत हवामानावर थेट अवलंबून असतात, तर काहींवर हवामानाचा अप्रत्यक्ष परिणाम होत असतो. प्रत्येक प्रकारच्या ऊर्जेच्या निर्मितीसाठी अनुकूल हवामान असावे लागते. शिवाय हवामानाच्या स्थितीवर ऊर्जेची गरज व त्याप्रमाणात तिची निर्मिती करणे आवश्यक असते. ही गरज भागवण्यासाठी अनेक स्रोतांचा वापर करून योग्य प्रमाणात ऊर्जेची निर्मिती करावी लागते.

विविध प्रकारच्या ऊर्जा निर्मितींवर हवामानाचा परिणाम

सूर्यप्रकाश, तापमान, ढग, पाऊस, वाऱ्याचा वेग व त्यांची दिशा, हवेचा दाब आणि आर्द्रता हे नवीनीकरणीय ऊर्जा उत्पादनावर परिणाम करणारे प्रमुख हवामान घटक आहेत.

सौर ऊर्जा : सूर्यप्रकाशातील फोटॉन (Photon) नावाचे ऊर्जाकण सिलिकॉन सौरपेशींवर (Solar Cells - Photovoltaic Cells - PV Cell) पडतात. त्यामुळे सिलिकॉनमधील इलेक्ट्रॉनना ऊर्जा मिळते, ते नियंत्रित हालचाल करू लागतात आणि विद्युत प्रवाह निर्माण करतात. सुरुवातीला हा प्रवाह डीसी (Direct Current - DC) स्वरूपात असतो. हा प्रवाह इन्व्हर्टरद्वारे एसी वीज तयार करतो. ही वीज वापरली किंवा बॅटरीमध्ये साठवली जाते. अतिरिक्त वीज विद्युत जाळ्यात (Grid) पाठवली जाते. योग्य प्रमाणात सौर ऊर्जेच्या निर्मितीसाठी २३ डिग्री सेल्सिअसपेक्षा जास्त तापमान असणे आवश्यक असते. आर्द्र व ढगाळ हवामान तसेच मुसळधार पाऊस असेल तर सौर ऊर्जेचे उत्पादन कमी होते. कमी तापमानात सौर विद्युतप्रणाली (photovoltaic system) पूर्ण क्षमतेने ऊर्जा निर्मिती करू शकत नाही.

सूर्यप्रकाश हा नवीनीकरणीय ऊर्जा स्रोत असल्याने इतर इंधनाची आवश्यकता नसते. त्यामुळे सौर ऊर्जा प्रदूषणमुक्त व पर्यावरणपूरक असते.

पवन ऊर्जा : पवनचक्की वाऱ्याच्या गतिज ऊर्जेला प्रथम यांत्रिक ऊर्जेत आणि नंतर विद्युत ऊर्जेत रूपांतरित करते. कार्यक्षम पवन ऊर्जा निर्मितीसाठी सर्वांत महत्त्वाची हवामानाची गरज म्हणजे सतत स्थिर दिशेने व योग्य वेगाने वाहणारा वारा. तापमान आणि हवेचा दाब यावर वाऱ्याचा वेग अवलंबून असतो. तापमान वाढल्यास हवा गरम होते, प्रसरण पावते, हलकी होते, हवेचा दाब कमी होतो आणि वाऱ्याचा वेग वाढतो. तापमान कमी झाल्यास हवा आकुंचन पावते, जड होते, हवेचा दाब जास्त होतो आणि वाऱ्याचा वेग मंदावतो. अशा वेळी पवन ऊर्जेचे उत्पादन कमी होते. पवनचक्की सुरू होण्यासाठी साधारण ३-४ मीटर प्रती सेकंद वाऱ्याचा वेग आवश्यक असतो, तर प्रभावी वीज निर्मितीसाठी साधारण ८-१५ मीटर प्रती सेकंद वेगाचा वारा उपयुक्त ठरतो. तीव्र वादळांच्या वेळी पवनचक्क्या बंद कराव्या लागतात. वर्षभर किंवा दीर्घ कालावधीपर्यंत नियमित योग्य वेगाचा वारा उपलब्ध असणाऱ्या स्थानांवर असणाऱ्या पवनचक्क्यांपासून पवन ऊर्जा निर्मिती अधिक होऊ शकते. समुद्रकिनारे, डोंगररांगा, पठारी प्रदेश आणि खुले मैदानी भाग येथे वाऱ्याची उपलब्धता योग्य असल्यामुळे पवन ऊर्जा निर्मितीसाठी अशी ठिकाणे निवडली जातात. पवन ऊर्जेच्या निर्मितीसाठी फक्त वारा या हवेच्या नैसर्गिक घटकाचीच आवश्यकता असल्याने या ऊर्जेची निर्मिती प्रदूषणमुक्त व पर्यावरणपूरक असते.

जैव ऊर्जा : लाकूड, वनस्पती, शेण, जैविक कचरा इत्यादींपासून जैव ऊर्जा निर्माण केली जाते. या ऊर्जेचे स्रोत पाऊस आणि तापमान या दोन महत्त्वाच्या घटकांवर अवलंबून असतात. पाऊस पुरेसा झाला तरच जैविक ऊर्जेच्या स्रोतांचे उत्पादन वाढते. कमी पाऊस व जास्त तापमान असेल तर जैव ऊर्जा स्रोतांचे उत्पादन घटते आणि ऊर्जा निर्मितीसाठी लागणारा कच्चा माल कमी मिळतो. अधिक पावसामुळे पूर येऊन पिकांचे व जैव ऊर्जा स्रोताचे नुकसान होऊ शकते. हवामानबदलांमुळे या स्रोतांच्या उपलब्धतेत अनियमितता होऊ शकते. ही ऊर्जा प्रदूषणमुक्त असते.

समुद्री लाटांची ऊर्जा : समुद्रातील लाटांच्या हालचालींपासून निर्माण होणाऱ्या ऊर्जेला समुद्री लाट ऊर्जा म्हणतात. याच्या उत्पादनासाठी समुद्रावरील वाऱ्याचा वेग आणि दिशा, लाटांची उंची आणि त्यांची शक्ती हे घटक महत्त्वाचे आहेत. जोरदार वाऱ्यामुळे मोठ्या आणि शक्तिशाली लाटा निर्माण होतात. वादळे आणि

चक्रीवादळांमुळे लाटांच्या ऊर्जेचे प्रमाण वाढू शकते. मात्र अतितीव्र वादळांमुळे ऊर्जा निर्मितीची उपकरणे खराब होण्याची शक्यता असते. हवामानातील बदलांमुळे समुद्रातील लाटांच्या स्वरूपात बदल होऊ शकतो.

भूऔष्णिक ऊर्जा : भूऔष्णिक ऊर्जा पृथ्वीच्या अंतर्गत उष्णतेपासून मिळते. ही ऊर्जा पृथ्वीच्या आतील उष्णतेवर आधारित असते. ती सूर्यप्रकाश, पाऊस किंवा वाऱ्यावर थेट अवलंबून नसते. त्यामुळे भूऔष्णिक ऊर्जा दिवसरात्र आणि वर्षभर तुलनेने स्थिरपणे उपलब्ध होऊ शकते. परंतु भूकंप, अतिवृष्टी, पूर यांसारख्या नैसर्गिक आपत्तींचा भूऔष्णिक ऊर्जा प्रकल्पांच्या पायाभूत सुविधांवर परिणाम होऊ शकतो. पाण्याच्या उपलब्धतेत बदल झाल्यास काही प्रकल्पांवर अप्रत्यक्ष परिणाम होऊ शकतो. परंतु हवामानाचा थेट परिणाम कमी असतो.

कचऱ्यापासून निर्माण होणारी ऊर्जा : घरगुती, औद्योगिक आणि सेंद्रिय कचऱ्यापासून वीज, उष्णता किंवा बायोगॅस तयार केला जातो. बायोगॅस निर्मितीसाठी योग्य तापमान आवश्यक असते. उष्ण तापमानामुळे सेंद्रिय कचऱ्याचे विघटन जलद व जास्त प्रमाणात झाल्याने मिथेनसारख्या वायूंचे उत्सर्जन वाढून हवेचे प्रदूषण वाढते. अतिवृष्टीमुळे कचराप्रक्रियाकेंद्रांचे नुकसान होते. तसेच, कचरा व्यवस्थापन आणि त्यांची वाहतूक विस्कळीत होते.

अणु ऊर्जा : अणु ऊर्जा ही अणूंच्या विखंडनातून निर्माण होणाऱ्या उष्णतेपासून वीज तयार करून मिळवली जाते. अणु ऊर्जा केंद्रांना थंड ठेवण्यासाठी मोठ्या प्रमाणात पाण्याची आवश्यकता असते. उष्णतेच्या लाटांमुळे तापमान वाढल्यास त्यांच्या शीतकरणावर परिणाम होतो. दुष्काळ पडल्यास पाण्याची पातळी कमी होऊन अणु ऊर्जा केंद्रांच्या कार्यक्षमतेवर परिणाम होतो. पूर, चक्रीवादळे आणि समुद्राची पातळी वाढणे यांसारख्या तीव्र हवामानाच्या घटनांमुळे अणु ऊर्जा केंद्रांच्या सुरक्षिततेस धोका निर्माण होऊ शकतो. थोडक्यात, अणु ऊर्जा निर्मिती ही हवामानावर थेट अवलंबून नसली तरी पाण्याची उपलब्धता आणि तीव्र हवामानाच्या घटनांचा तिच्यावर परिणाम होतो.

तीव्र हवामानाचा ऊर्जाक्षेत्रांवर होणारा परिणाम

तीव्र हवामान आणि हवामानातील दीर्घकालीन बदलांचा ऊर्जाक्षेत्रातील विविध घटकांवर परिणाम होतो. ऊर्जा क्षेत्रासाठी हवामानविषयक आणि हवामानबदलासंबंधीच्या सेवा विकसित करणे व त्यांची अंमलबजावणी करणे हे आव्हानात्मक काम आहे. याचे कारण म्हणजे या क्षेत्रातील



तीव्र वादळ व अतिवृष्टीमुळे पवनचक्क्यांचे झालेले नुकसान

व्यवसायांची मोठी विविधता. त्यासाठी वेगवेगळ्या प्रदेशांतील हवामान, वेगवेगळे कालावधी आणि हवामानाच्या वेगवेगळ्या घटकांची माहिती आवश्यक असते.

हवामानातील बदल आणि अतिवृष्टीसारख्या किंवा इतर तीव्र हवामान घटनांचा आधुनिक ऊर्जा प्रणालींवर, विजेच्या मागणीवर आणि नवीनीकरणीय ऊर्जा निर्मितीवर कसा परिणाम होतो यांचा अभ्यास केला जातो. पूर, वादळे आणि उष्णतेच्या लाटा यांसारख्या तीव्र हवामान घटनांमुळे वीजपारेषण व्यवस्थेत व्यत्यय येतो आणि पायाभूत सुविधांचे नुकसान होते. हवामान आणि हवामानातील बदलांचा ऊर्जेच्या पुरवठ्यावर व मागणीवर परिणाम होतो. या सर्वांच्या विश्लेषणावरून असे दिसून येते की पवन ऊर्जा प्रणाली अधिक असुरक्षित आहे. कारण ही यंत्रणा सतत वारा असणाऱ्या मोकळ्या जागेवर असते.

हवामान आणि हवामानातील दीर्घकालीन बदलांचा ऊर्जा क्षेत्रावर नेमका कसा परिणाम होतो हे समजण्यासाठी अनेक हवामानविषयक घटकांचा विचार केला जातो. ऊर्जा क्षेत्रातील हवामान आणि हवामानविषयक माहितीचा उपयोग दैनंदिन कामकाजामध्ये, ऊर्जा उत्पादक आणि वितरक अल्पकालीन हवामान अंदाजांचा वापर करून ऊर्जेचा पुरवठा योग्य प्रकारे समायोजित करतात आणि काही तास किंवा काही दिवस आधी ऊर्जेच्या मागणीचा अंदाज घेतात.

विविध धोरणांमुळे संपूर्णपणे विद्युतीकृत ऊर्जा व्यवस्थेकडे वाटचाल करण्यास प्रोत्साहन मिळत असल्याने, विजेच्या मागणीचे हवामानावरील अवलंबित्व वाढणार आहे. तसेच, विद्युतवाहनांचा वाढता वापर आणि छतांवर सौर पॅनेल बसवण्यासारखी विकेंद्रित ऊर्जा निर्मिती वाढत असल्यामुळे हवामानामुळे प्रभावित होणाऱ्या ऊर्जा निर्मितीच्या यंत्रणांची विशेष काळजी घ्यावी लागते.



ऊर्जा क्षेत्रासाठी हवामानाचा अंदाज

हवामानावर अवलंबून असलेल्या ऊर्जेच्या मागणीचा अभ्यास करण्यासाठी वापरले जाणारे दोन महत्त्वाचे घटक म्हणजे उष्णता-आवश्यकता दिवस (Heating Degree Days - HDD) - आणि शीतकरण-आवश्यकता दिवस (Cooling Degree Days - CDD). HDD आणि CDD हे उष्णता देणे (heating) व शीतकरण करणे (cooling) यांसाठी लागणाऱ्या ऊर्जेच्या मागणीचा प्राथमिक आणि साधारण अंदाज देण्यासाठी उपयुक्त ठरतात. बाहेरील तापमान मूळ तापमानापेक्षा किती कमी आहे हे मोजण्यासाठी HDDचा वापर करतात. बाहेरील सरासरी तापमान ठरवलेल्या आधारभूत तापमानापेक्षा (१५° सेल्सिअस) कमी असते तेव्हा इमारतींना उष्णता मिळवण्यासाठी लागणाऱ्या ऊर्जेचा अंदाज घेण्यासाठी HDDचा वापर करतात. बाहेरील वातावरणातील सरासरी तापमान विशिष्ट मर्यादापेक्षा (१८ डिग्री सेल्सिअस) वाढते तेव्हा घरातील किंवा इमारतीमधील वातावरण थंड ठेवण्यासाठी किती जास्त ऊर्जेची गरज असेल हे CDDद्वारे मोजले जाते. हिवाळ्यात घरांमध्ये किंवा कार्यालयांमध्ये हीटर वापरण्यासाठी आणि उन्हाळ्यात वातावरण थंड ठेवण्यासाठी वातानूकूलित यंत्रणेसाठी किती वीज लागेल, याचा अंदाज घेण्यासाठी ही माहिती उपयुक्त ठरते. विजेची वाढती मागणी लक्षात घेऊन नियोजन करण्यासाठी वीज कंपन्या आणि ऊर्जानियोजक याचा वापर करतात.

दोन किंवा अधिक तीव्र हवामानाच्या घटना एकामागोमाग घडतात किंवा वेगवेगळ्या ठिकाणी पण एकाच वेळी घडतात, त्या वेळी ऊर्जा निर्मिती प्रणालींवर मोठा ताण येतो आणि ऊर्जा कंपन्यांना मोठ्या प्रमाणात आर्थिक नुकसान सहन करावे लागते. उदाहरणार्थ, वादळांच्या जोरदार वाऱ्यामुळे झाडे उन्मळून पडतात, मनोरे कोसळतात, विद्युततारा तुटतात, अतिवृष्टीमुळे विद्युतकेंद्रांमध्ये पाणी शिरून वीज वितरणाच्या जाळ्यांमध्ये म्हणजे नेटवर्कमध्ये बिघाड होतो. या सर्वांचा परिणाम म्हणून वीजेच्या वितरणामध्ये मोठ्या प्रमाणात व्यत्यय येतो. विजेच्या पुरवठ्यातील तुटवडा भरून काढण्यासाठी पर्यायी वीज स्रोतांपासून तयार होणारी वीज वापरावी लागते. देखभालीचे काम करणाऱ्या कर्मचाऱ्यांना योग्य नियोजन करावे लागते.

अत्यंत तीव्र हवामानविषयक घटनांचे इशारे वापरून वीजपुरवठ्यातील व्यत्ययांना त्वरित प्रतिसाद देण्यासाठी ऊर्जा वितरकांकडून आगाऊ उपाययोजना केल्या जातात.

ऊर्जा उत्पादनाचा अचूक अंदाज घेण्यासाठी अधिक अचूक व विश्वासार्ह हवामानविषयक माहिती आवश्यक असते. या माहितीत योग्य वेळेची माहिती आणि आवश्यक हवामान घटकांचा समावेश असणे महत्त्वाचे असते. याशिवाय, महत्त्वाच्या घटकांची मागील काळातील माहिती उपलब्ध असल्यास भविष्यातील परिस्थितीचा अधिक अचूक अंदाज घेता येतो आणि ऊर्जा प्रकल्पांचे नियोजन अधिक परिणामकारकपणे करता येते.

लघु कालावधी म्हणजे १-३ दिवस, मध्यम कालावधीसाठी म्हणजे पुढील काही आठवडे किंवा काही महिने आणि दीर्घ कालावधी म्हणजे ऋतुनिहाय हवामानाचा अंदाज वापरला जातो. या अंदाजांमुळे ऊर्जेचा पुरवठा आणि मागणी याचा अंदाज घेण्यास मदत होते.

भविष्यातील नियोजनासाठी पुढील काही वर्षांच्या अंदाजाचा उपयोग केला जातो. ऊर्जा उत्पादन आणि वितरणाच्या पायाभूत सुविधांमध्ये आवश्यक ते बदल करून,



अतिवृष्टीमुळे विद्युतप्रकल्पाच्या स्थळाला धोका

भविष्यातील हवामानबदलांना प्रतिसाद देण्यास या अंदाजांमुळे ऊर्जा क्षेत्राला मदत होते. ऊर्जा क्षेत्रातील गुंतवणूक आणि धोरणात्मक निर्णयांसाठी देखील ते मार्गदर्शक ठरतात. यासाठी भूतकाळातील हवामान नोंदींचा सखोल अभ्यास केला जातो आणि विविध संभाव्य परिस्थितींमध्ये ऊर्जा प्रणालीची ताण-चाचणी (Stress Testing) केली जाते.

संदर्भ

1) Amin Amin, Mourshed Monjur, Weather and climate data for energy applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 192, March 2024, 114247
2) Energy - Wikipedia
3) Shamaila, et al, Analyzing the impact of weather conditions on energy efficiency in residential buildings using machine learning techniques with explainable artificial intelligence, Advances in Building Energy Research, 29, 5, 2026, 625-659
4) Jiang Hou, et al, Impact of climate changes on the stability of solar energy: Evidence from observations and reanalysis, Renewable Energy, 208, May 2023, 726-736
5) Seitter Keith L., Weather as fuel-The wicked problem of renewable energy, Bulletin of American Meteorological Society, November 2024, E2231 - E2241

– अनघा शिराळकर
anaghashiralkar@gmail.com





ध्रुवीय 'एपिशेल्फ' सरोवराचा अंत

आनंद घैसास

'एपिशेल्फ' सरोवराचा अंत झाला अशी बातमी गेल्या ६ सप्टेंबरला एका शोधनिबंधातून समोर आली असली, तरी या अंताची सुरुवात एका दशकापूर्वीच लक्षात आली होती. शिवाय संपूर्ण पृथ्वीचेच तापमान हळूहळू पण सतत वाढताना जाणवते आहे, त्याचाच हा परिणाम मानावा लागणार आहे. पाहू या या संशोधनाची सविस्तर माहिती...

ध्रुवीय 'एपिशेल्फ' सरोवरात (polar epishelf lake) गोडे पाणी समुद्राच्या खाऱ्या पाण्यावर तरंगते, ज्यामुळे एक अद्वितीय परिसंस्था निर्माण होते. कॅनडामधील अशा प्रकारचे हे शेवटचे सरोवर होते; आता ते नाहीसे झाले आहे. असे लक्षात आले आहे.

कॅनडातील एकमेव शिल्लक असलेले एपिशेल्फ सरोवर – म्हणजेच खाऱ्या पाण्यावर तरंगणाऱ्या गोड्या पाण्याने बनलेले सरोवर – आणि त्यासोबतच त्याने आधार दिलेली अद्वितीय परिसंस्था नष्ट झाली आहे, याची शास्त्रज्ञांनी एका नवीन अभ्यासात पुष्टी केली आहे. या



इ.स.२०१८ मध्ये, जेरेमी बोनो (Jµrµmie Bonneau) हे 'मूरिंग' (mooring) नावाचे एक निरीक्षण शोध उपकरण (प्रोब) 'मिल्न फिओर्ड एपिशेल्फ सरोवराच्या' (Milne Fiord epishelf lake) बर्फातून मुक्त करण्याचा प्रयत्न करत आहेत. हे सरोवर वर्षभर बर्फाच्छादित असायचे आणि इ.स.२०२० मध्ये त्याचे पाणी महासागरात वाहून जाईपर्यंत कॅनडामधील अशा प्रकारचे ते एकमेव सरोवर होते. (युलिया अँट्रोपोव्हा/वॉटर अँड आइस रिसर्च लॅबोरेटरी/कार्लटन युनिव्हर्सिटी)

अभ्यासाचे प्रमुख लेखक आणि क्युबेक शहरातील लावाल विद्यापीठातील साहायक प्राध्यापक जेरेमी बोनो म्हणाले, की या सरोवराचे असे नष्ट होणे दुःखद आहे, कारण 'नुनावुट'मधील 'एलेस्मेअर' बेटावरील 'मिल्ने फिओर्ड एपिशेल्फ सरोवर' हे 'कॅनडामधील त्या प्रकारचे शेवटचे सरोवर' होते. 'अचानक, ते... कोरडे पडले आणि मग तिथे असलेले सर्व सजीव नाहीसे झाले.' बोनो यांनी नमूद केले, की एकेकाळी सामान्य असलेल्या एका घटनेचे पूर्णपणे नाहीसे होणे, हे वाढत्या तापमानामुळे आर्क्टिक प्रदेशात कसे परिवर्तन होत आहे हे दर्शवते.

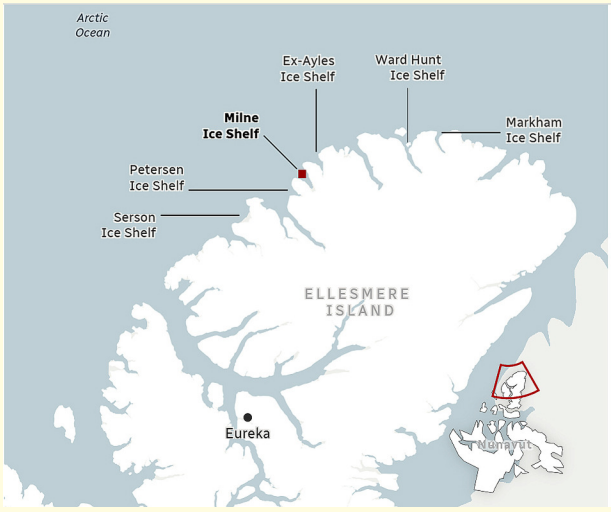
शास्त्रज्ञांनी यापूर्वी या सरोवराच्या विनाशाबद्दल माहिती दिली असली तरी, 'सायंटिफिक रिपोर्ट्स' या नियतकालिकात नुकत्याच प्रकाशित झालेल्या नवीन अभ्यासात, हे कसे घडले याचे तपशीलवार वर्णन केले आहे आणि म्हटले आहे, की हे अपरिवर्तनीय नुकसान 'एक मोठे स्थित्यंतर आणि ४००० वर्षांच्या एका युगाचा अंत दर्शवते.'

मिल्न हिमशिखर कोसळल्यानंतर दोन वर्षांनी आणखी एक मोठा बदल घडला. कॅनडातील शेवटच्या शिल्लक असलेल्या हिमशिखरावरील सरोवराचे नाहीसे होणे. मिल्न हिमशिखर हे त्या दुर्मिळ आर्क्टिक परिसंस्थेचा एक अत्यंत महत्त्वाचा भाग होते.

'एपिशेल्फ सरोवरे' (epishelf lakes) कशी तयार होतात?

हिमनद्या म्हणजे बर्फाचे ओघळते प्रवाह असतात. सामान्यतः ते सावकाश वितळून जात नद्यांना किंवा सरळ समुद्राला जाऊन मिळतात आणि त्यांच्या पृष्ठभागावरील वितळलेले पाणीही अशा वेळी समुद्रातच जात असते. सहसा, वारा आणि लाटांमुळे हे गोडे पाणी समुद्राच्या खाऱ्या पाण्यात वेगाने मिसळले जाते.

या अडथळ्यामुळे या वाहत येणाऱ्या गोड्या पाण्याला समुद्रात जाण्यापासून रोखले गेले आणि त्यामुळे आर्क्टिक महासागराच्या खाऱ्या पाण्यावर ते साचू लागले. गोड्या



'मिल्न फिओर्ड'चे (Milne Fiord) मुख हजारो वर्षांपासून 'मिल्न आइस शेल्फ'मुळे (Milne Ice Shelf) अडवले गेले आहे. हे आइस शेल्फ म्हणजे समुद्रावर तरंगणारे आणि एल्स्मिअर बेटाच्या (Ellesmere Island) उत्तर किनाऱ्याला जोडलेला बर्फाचा एक प्रचंड आणि सपाट भाग आहे.

पाण्याची घनता खाऱ्या पाण्यापेक्षा कमी असल्याने, त्याचा एक तरंगणारा थर तिथे तयार झाला.

दरम्यान, त्या सरोवरावर वर्षभर ५० ते १०० सेंटिमीटर जाडीचा बर्फाचा थर साचलेला असे. या थरामुळे गोड्या आणि खाऱ्या पाण्याच्या थरांचे वाऱ्यापासून संरक्षण होत असे – अन्यथा वाऱ्यामुळे हे थर एकमेकांत मिसळले असते – तसेच, या थरामुळे सरोवराचे अस्तित्व पृष्ठभागावरून दिसतही नसे.

बोनो यांनी सांगितले, की मिल्न फिओर्डमधील हा तलाव ४,००० वर्षांहून अधिक काळापासून अस्तित्वात होता आणि त्यात गोड्या पाण्याचा साठा जमा होत होता, याचे पुरावे उपलब्ध आहेत.

युनिव्हर्सिटी ऑफ अल्बर्टाचे संशोधक आणि या नवीन अभ्यासाचे सह-लेखक अँड्र्यू हॅमिल्टन यांनी सांगितले, की इ.स.१९८३मध्ये संशोधकांनी पहिल्यांदा याचे मोजमाप केले, तेव्हा त्यातील गोड्या पाण्याचा थर १८ मीटरच्या खोलीपर्यंत होता; आणि सरोवराची उंची सुमारे सहा मजली इमारतीइतकी खोल जाणारी त्या वेळी नोंदली गेली होती.

एक अद्वितीय परिसंस्था

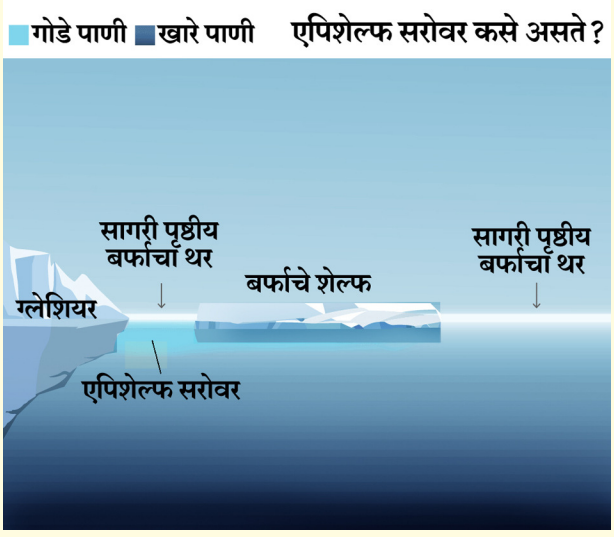
सरोवराच्या खारे पाणी आणि गोडे पाणी अशा दोन थरांमधील जिवाणू, विषाणू आणि फायटोप्लँक्टन (सूक्ष्म जलचर वनस्पती) यांचा अभ्यास करताना संशोधकांना असे आढळून आले, की केवळ २० सेंटिमीटरच्या अंतरावर राहणाऱ्या गोड्या पाण्यातील आणि खाऱ्या पाण्यातील जीवसमूहांमध्ये व्यावहारिकदृष्ट्या कोणताही परस्परसंबंध किंवा मिसळ होत असलेली (overlap) दिसली नाही.

बोन्नो म्हणाले, 'एकाच जलस्तंभात (water column) खरोखरच दोन अद्वितीय परिसंस्था अस्तित्वात आहेत आणि अशी स्थिती इतरत्र कुठेही आढळत नाही.'

मेरी थेलर – ज्यांनी यापूर्वी डीएनए (DNA) विश्लेषणासाठी या सरोवरातील पाण्याचे परीक्षण केले होते, परंतु, त्या या नवीन अभ्यासात सहभागी नव्हत्या. त्या म्हणाल्या, की मानव किंवा मासे गोड्या आणि खाऱ्या पाण्यातील अदृश्य सीमारेषेवरून सहजपणे पलीकडे जाऊ शकत असले, तरी एकपेशीय सजीवांसाठी मात्र हा 'एक अभेद्य असा अडथळा' असतो.

लावल विद्यापीठातील थेलर आणि त्यांच्या सहकाऱ्यांनी केलेल्या विश्लेषणात जिवाणू, अधिक जटिल युकॅरिओटिक सूक्ष्मजीव (ज्यांच्या पेशी वनस्पती आणि प्राण्यांच्या पेशींसारख्या असतात) तसेच विषाणू आढळून आले. यामध्ये अशा प्रजातींचा समावेश होता ज्या सामान्यतः पाण्यात न राहता तळाशी असलेल्या गाळात वास्तव्यास असतात. या सरोवरात आढळलेल्या काही सूक्ष्मजीवांची नोंद यापूर्वी आर्क्टिक प्रदेशात कधी झाली नव्हती.

त्या सरोवराचा प्रभाव त्याच्या स्वतःच्या सीमांपुरता मर्यादित नव्हता. हॅमिल्टनने बर्फाच्या थरातील एका खाडीत एक 'रिमोटली ऑपरेटेड व्हेइकल' (ROV) पाठवले, जिथे



सामान्यतः 'एपिशेल्फ सरोवर' (epishelf lake) हे पूर्णपणे बर्फाच्या थराच्यावर (आइस शेल्फ) स्थित असतात – 'एपिशेल्फ' या शब्दाचा अर्थच तसा आहे – परंतु मिल्न फिओर्डमधील हा तलाव प्रत्यक्षात बर्फाच्या थराखालील एका चिंचोळ्या मार्गाद्वारे (चॅनेलद्वारे) महासागराशी जोडलेला होता. हा बर्फाचा थर गेल्या साधारण एका शतकापासून पातळ होत चालला आहे.

सरोवरातून गोडे पाणी बाहेर वाहत होते, वाटेत ते खाऱ्या पाण्याशी मिसळत होते आणि पोषक तत्त्वे सामान्य खोलीपेक्षा अधिक खोलवर वाहून नेत होते.

त्याने बर्फाच्या थराखालील सरोवरातून वाहून येणाऱ्या पोषक तत्त्वांवर जगणाऱ्या, १० मीटर बर्फाखाली पूर्ण अंधारात वाढणाऱ्या गूढ 'समुद्री निमोन्स, स्कॅलॉप्स आणि समुद्री तारकाजीवांचे (सी स्टार्सचे) व्हिडिओ फुटेज रेकॉर्ड केले होते.

ते म्हणाले, 'या प्रकारच्या बर्फाच्या खाडीत एक संपूर्ण, समृद्ध परिसंस्था अस्तित्वात असल्याचे पाहून आम्ही पूर्णपणे थक्क झालो.'

ते सरोवर आणि त्यातील जीव यांचा अंत कसा झाला..

त्यानंतर, २०२० मध्ये, एल्स्मिअर बेटाच्या किनाऱ्यालगत 'मिल्न आइस शेल्फ'चे तुकडे झाले आणि त्याच्या भिंतींमुळे अडवून ठेवलेले ते सरोवर मोकळे झाले.

इ.स.२०२० मध्ये एलेस्मेअर बेटाच्या उत्तरेकडील किनारपट्टीवरील मिल्ने आइस शेल्फ कोसळल्यानंतर, त्याला आधार देणारा तलाव नाहीसा झाला. बेटाच्या ग्लेशियरसाठी याचा काय अर्थ असू शकतो हे समजून घेण्याचा प्रयत्न करण्यासाठी या उन्हाळ्यात शास्त्रज्ञ उत्तरेकडे परतले.



मिल्न आइस शेल्फच्या खाली असलेला एक पूर्वीचा जलमार्ग, जो बर्फ फुटल्यानंतर उघड झाला. हा जलमार्ग एपिशेल्फ सरोवरातून गोडे पाणी आर्क्टिक महासागरापर्यंत वाहून नेत असे. (सौजन्य : कॅमेरॉन फिट्झपॅट्रिक)

या नवीन अभ्यासात बर्फ आणि खुद्द सरोवराचे कोसळण्यापूर्वी आणि नंतर काय झाले, याचा आढावा घेण्यात आला. संशोधकांकडे 'मूरिंग्ज' (moorings) नावाची उपकरणे होती, जी फिओर्ड सरोवराच्या तळापासून पृष्ठभागापर्यंत पसरलेली होती आणि विविध खोलींवर पाण्याची क्षारता किती ते मोजत होती.

त्यांच्या निरीक्षणातून असे दिसून आले, की बर्फाचा थर (आइस शेल्फ) तुटल्यानंतर अवघ्या दोन महिन्यांतच तिथले गोडे पाणी वाहून गेले आणि फिओर्डमध्ये त्याचा काहीही अंश उरला नाही.



संशोधक जोसेफ शोपिक (डावीकडे) आणि जेरेमी बोनो इ.स.२०२२ मध्ये 'मिल्न आइस शेल्फ'मधील भेगांमधून पाण्याचे तापमान आणि क्षारता मोजत आहेत. इ.स.२०२० मध्ये हा बर्फाचा पट्टा (आइस शेल्फ) दुभंगल्यामुळे अशा भेगा निर्माण झाल्या होत्या. (कॅमेरॉन फिट्झपॅट्रिक/वॉटर अँड आइस रिसर्च लॅबोरेटरी/ कार्लटन युनिव्हर्सिटी)

थेलर म्हणाले, की 'तिथे राहणारे गोड्या पाण्यातील जीव समुद्राच्या पाण्यात मिसळल्यावर जवळजवळ तात्काळ मरण पावले असणार.' तर बोनो म्हणाले, की 'गोड्या पाण्याचे सरोवर वर्षभर बर्फाच्छादित असायचे, तर खाऱ्या पाण्याचा भाग फिओर्ड उन्हाळ्यातील काही काळ बर्फमुक्त असतो, ज्यामुळे वारा आणि लाटांमुळे ते गरम होते आणि त्याचे बर्फाळ थरांच्या कडांशी मिश्रण होते – हे एक वैशिष्ट्यपूर्ण सागरी वातावरण आहे, जे पूर्वीच्या सरोवरातील जीवांपेक्षा वेगळ्या जीवांना अनुकूल आहे. त्यामुळे तुम्हाला हा मोठा बदल दिसू लागतो'.

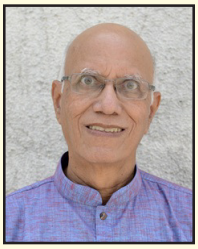
कॅनडामधून एपिशेल्फ सरोवरे आता पूर्णपणे नाहीशी झाली असली तरी, ग्रीनलँड आणि अंटार्क्टिकामध्ये अजूनही अशी काही सरोवरे अस्तित्वात आहेत.

हॅमिल्टन म्हणाले, ''दुर्दैवाने, त्यांचेही दिवस आता मोजकेच उरले आहेत.. यावरून हेच अधोरेखित होते, की आपल्या ग्रहाचे सौंदर्य खुलवणाऱ्या काही अत्यंत विस्मयकारक परिसंस्थांच्या बाबतीत आपण एका अशा प्रवासावर निघालो आहोत ज्यातून परतीचा मार्ग नाही...''

संदर्भ : लाइव्ह सायन्स वेबसाइट; नॅशनल जिऑग्राफिक मॅगॅझिन; ब्राइटर साइड ऑफ न्यूज वेबसाइट, सीबीसी रेडिओ ॲण्ड न्यूज, कॅनडा; यूट्यूबवर याचे काही व्हिडिओही आहेत. ते जरूर पाहा.

– आनंद घैसास

anandghaisas@gmail.com



इंधनाची गरज, समस्या आणि पर्याय

आनंद घारे

माणसाने हजारो वर्षांपूर्वी अग्नी चेतवण्याचे तंत्र आत्मसात केले आणि तो विविध कामांसाठी त्याचा उपयोग करायला लागला. आपले अन्न भाजून किंवा शिजवून खाल्ले तर ते जास्त चविष्ट लागते आणि सहजपणे पचते हे लक्षात आल्यापासून माणूस स्वयंपाक करायला लागला. त्यासाठी त्याला इंधनाची गरज लागली आणि त्याने निसर्गामधील सुकलेल्या झाडांच्या काटक्या, गवत, पालापाचोळा आणि लाकडे गोळा करून त्याची सोय केली. सुमारे शंभर दीडशे वर्षांपूर्वीपर्यंतच्या काळात बहुतेक मानवी वस्ती ग्रामीण भागात रहात होती आणि खेड्यांमध्ये राहणाऱ्या लोकांच्या संख्येच्या मानाने आजूबाजूच्या पडिक ओसाड जमिनीत, डोंगरांवर आणि जंगलांमध्ये बाभळीसारख्या रानटी झाडांची भरपूर वाढ होत राहिली होती. त्या काळातल्या लोकांना अन्न शिजवण्यासाठी जेवढे सरपण लागत होते तेवढे सरपण त्यांना आजूबाजूला सहजपणे उपलब्ध होत होते. कुंभार, लोहार, सोनार यांसारख्या कारागिरांना त्यांच्या भट्ट्या पेटवण्यासाठीसुद्धा लाकूड हेच इंधन पुरेशा प्रमाणात मिळत होते. त्या काळात लाकूड हेच मुख्य इंधन होते. परंतु पुढील काळात लोकसंख्या झपाट्याने वाढत गेली आणि औद्योगिक क्रांती होऊन कारखानदारीत प्रचंड वाढ होत गेली. यामुळे परिस्थिती पूर्णपणे बदलत गेली. किंबहुना भूगर्भातील कोळसा आणि पेट्रोलियम तेल या वेगळ्या इंधनांच्या उपलब्धीमुळे आणि वीजनिर्मितीमुळे औद्योगिकीकरण झपाट्याने होत गेले असेही म्हणता येईल.



इंधन

आज आपल्याला कोणकोणत्या गोष्टींसाठी इंधनांची किंवा विजेसारख्या पर्यायी ऊर्जेची गरज असते? आजही स्वयंपाक करण्यासाठी इंधन लागतेच. परंतु प्रचंड लोकसंख्या वाढ आणि जंगलतोड झाल्यामुळे आता जाळण्यासाठी पुरेशी लाकडे उपलब्ध होत नाहीत, शिवाय शहरातील घरांच्या रचनेमध्ये स्वयंपाक करण्यासाठी लाकडांचा उपयोग करणे अवघड असल्यामुळेही तिथे वेगळ्या इंधनांची आवश्यकता असते. आज त्यासाठी रॉकेल किंवा गॅस या इंधनांचा वापर होतो. पूर्वीच्या काळातले लोक आताइतका प्रवास करत नसत आणि पूर्वी फारसे सामानही इकडून तिकडे पाठवले जात नसे, आज प्रवासाची गरज आणि त्याचे प्रमाण अनेकपट वाढले आहे आणि सर्व जग हीच एक मोठी बाजारपेठ झाली असल्यामुळे कुठेही तयार झालेला माल कुठेही विक्री आणि उपयोगासाठी पाठवला जाऊ लागला आहे. या प्रवासी आणि सामानाच्या वाहतुकीसाठी लागणारी कार, बस, ट्रक, रेल्वे, विमाने आणि जहाजे यांच्यासारखी वाहने मुख्यतः पेट्रोल, डिझेल आणि जेट फ्युएल या इंधनांवर चालतात. सिमेंट, स्टील, रसायने, औषधे, खते इत्यादी वस्तूंचे उत्पादन करणाऱ्या कारखान्यांमधील भट्ट्या आणि यंत्रसामग्री चालवण्यासाठी मोठ्या प्रमाणावर इंधन लागते. मोठ्या प्रमाणात शेतीचे यांत्रिकीकरण झाले असल्यामुळे त्यासाठीही ट्रॅक्टर व हार्वेस्टर चालवणे, पाण्याचे सिंचन पंप फिरवणे आणि शेतमाल बाजारात नेणाऱ्या वाहनांसाठी इंधनाची आवश्यकता असते. आपल्याला अत्यावश्यक असलेली वीज निर्माण करण्यासाठीही मोठ्या प्रमाणावर इंधन जाळले जाते.

चीन आणि युरोपमधील काही ठिकाणी खूप पूर्वीच जमिनीखाली दडलेला दगडी कोळसा सापडला होता आणि पूर्वीपासून काही प्रमाणात त्याचा जाळण्यासाठी उपयोग केला जात होता. सुमारे दोनशे वर्षांपूर्वी युरोपात औद्योगिक

क्रांती सुरू झाल्यानंतर ठिकठिकाणी कोळशाच्या खाणी खणून मोठ्या प्रमाणावर तो बाहेर काढला गेला, तसेच यंत्रांमध्ये तो कोळसा जाळून त्यातून तयार होणाऱ्या उष्णतेवर यंत्रे चालवणे सुरू झाले. कोळसा जाळून त्यावर आगगाड्या आणि आगबोटी चालवल्या गेल्या. एकोणिसाव्या शतकात भूमिगत पेट्रोलियम तेल बाहेर काढण्यात आले आणि त्याचे पृथःकरण करून त्यामधून पेट्रोल, रॉकेल, डिझेल यांसारखी द्रवरूप इंधने तयार करण्यात आली. त्या शतकाच्या अखेरीपर्यंत ती तेले जाळून चालणारी अंतर्गत ज्वलन (इंटर्नल कंबशन) इंजिने तयार झाली. विसाव्या शतकात अनेक प्रकारची यंत्रे आणि मोटारगाड्या, विमाने आणि जहाजे आदी वाहने चालवण्यासाठी या द्रवरूप इंधनांचा उपयोग व्हायला लागला आणि तो वेगाने वाढत गेला. याच सुमारास मोठ्या प्रमाणावर विजेचे उत्पादन आणि वितरण सुरू झाल्यानंतर घराघरांमध्ये, ऑफिसांमध्ये आणि कारखान्यांमध्ये दिवे, पंखे आणि इतर यंत्रे चालवण्यासाठी विजेचा वापर सुरू झाला. संगणक आणि आंतरजाल याच्यामधून उदयाला आलेले माहितीतंत्रज्ञानाचे क्षेत्र तर पूर्णपणे विजेवरच चालते. या विजेच्या उत्पादनासाठीही कोळसा आणि खनिजतेलांचा वापर मोठ्या प्रमाणात होऊ लागल्यामुळे या इंधनांची मागणी वाढत गेली.

अवकाशात पृथ्वीचा गोळा तयार होत असताना तिच्यासोबत आलेल्या मूलद्रव्यांमधून जशी पृथ्वीवरील दगडमाती तयार होत गेली, तशा प्रकारे ही खनिज इंधने तयार झालेली नाहीत. काही अब्ज वर्षांपूर्वी समुद्रांच्या पाण्यात जीवसृष्टी निर्माण झाली आणि समुद्रांमध्ये तसेच जमिनीवर ती वाढत गेली. कोट्यवधी वर्षांपूर्वीपासून समुद्रात राहणारे सूक्ष्म जीव आणि वनस्पती मृत झाल्यावर समुद्राच्या तळाशी साचत गेल्या आणि त्यांच्यांवर वाळू, दगडमाती आणि खडकांचे थरांवर थर जमत गेले. काही ठिकाणच्या विशाल जंगलांमधील झाडे, वेली आदी वनस्पती मृत झाल्यावर त्या दलदलीच्या पाण्यात आणि चिखलात पडून हळूहळू दगडमातींमध्ये गाडल्या गेल्या. पृथ्वीच्या पोटातील उष्णता आणि वरून येणारा दाब यामुळे या सेंद्रिय पदार्थांचे रासायनिक रूपांतर होऊन त्यांचेमधून कोळसा, तेल आणि नैसर्गिक वायू तयार होत गेले. समुद्रामधील जीवांचे रूपांतर खनिज तेल आणि वायू या हायड्रोकार्बनमध्ये झाले, तर जमिनीवरील झाडांमधील संयुगांचे विघटन होऊन कोळसा म्हणजे फक्त कार्बन शिल्लक राहिला. तयार झालेले तेल आणि वायू खडकांच्या छिद्रांमध्ये साचत राहिले. या तेलाच्या थराच्या वर अपार्य (नॉनपोरस) खडक आले, तेव्हा ते तेल व वायू तिथेच अडकून पडले, या क्रिया कोट्यवधी वर्षे होत गेल्या. मध्यंतरीच्या काळात पृथ्वीच्या कवचाच्या हालचालींमुळे काही ठिकाणी समुद्राचा तळ वर उचलला गेला आणि त्याचे रूपांतर जमिनीत झाले, तसेच काही ठिकाणी समुद्राचे पाणी आटले आणि तिथे गाळ साचून जमीन तयार झाली. आज जिथे तेलाचे मोठे साठे आहेत, असे काही भाग एकेकाळी समुद्राखाली होते. आज आपल्याला मिळणारा दगडी कोळसा, पेट्रोलियम तेल आणि नैसर्गिक वायू हे एका काळी असलेल्या वनस्पती आणि प्राणी यांच्यापासून तयार झालेले आहेत म्हणून यांना जीवाश्म इंधन (फॉसिल फ्युएल) असे संबोधले जाते. जगातील ऊर्जेची आज असलेली मोठी गरज ही जीवाश्मइंधनेच भागवतात. परंतु हे स्रोत एकदा संपले की ते पुन्हा निर्माण होण्यास दशलक्षावधी वर्षे लागतात, त्यामुळे ते मर्यादित आहेत.

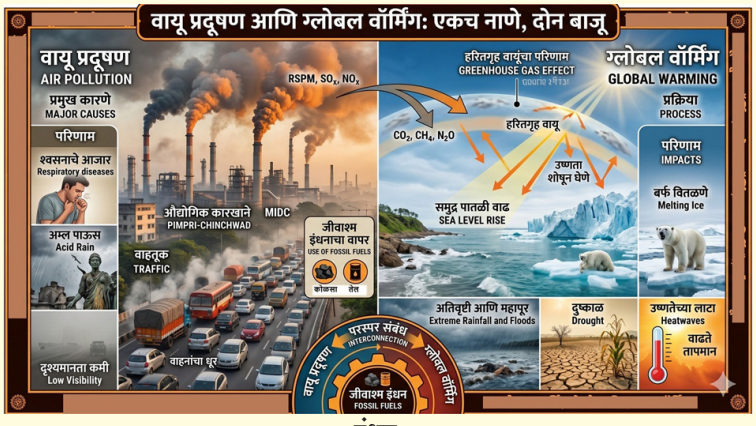
जगभरामध्ये जमिनीखाली असलेला कोळशाचा साठा खूप मोठा असल्यामुळे तो आणखी एक दोन शतके पुरेल, पण तेलाचा साठा लवकरच संपणार आहे असा अंदाज पूर्वीपासून केला जात होता. पूर्वीच्या त्या काळातल्या तंत्रज्ञानानुसार जेवढे तेल जमीनीतून काढणे त्या काळातल्या तेलाच्या किमतीत परवडत होते तेवढाच साठा जमिनीखाली उपलब्ध आहे असा अंदाज केला जात होता. परंतु परिस्थिती सतत बदलत गेली. तेलाच्या वाढत गेलेल्या किमतींमुळे अधिक खर्चिक अशा पद्धतींनी जमिनीतून तेल बाहेर काढणे परवडायला लागले. यामुळे पन्नाससाठ वर्षांपूर्वी आपल्याला ज्या साठ्यांची माहिती होती, त्याव्यतिरिक्त अनेक नवीन ठिकाणी तेलाचे मोठे साठे शोधून काढले गेले. तंत्रज्ञान प्रगत झाल्यामुळे आपण आता समुद्राच्या अतिशय खोल तळाशी जाऊन त्याच्याही खूप खाली असलेल्या खडकांमधले तेल काढू शकतो. पूर्वी कुणी असा विचारही केला नसेल. पूर्वी एका विहिरीतून फक्त ३० टक्के ते ४० टक्के तेल बाहेर काढणे शक्य व्हायचे, बाकीचे तेल जमिनीतच अडकून राहायचे. आता तंत्रज्ञानातील प्रगत आधुनिक पद्धतींमुळे आपण त्या जुन्या विहिरींमधूनही अधिक तेल बाहेर काढू शकतो. बहुतेक ठिकाणी तेलाच्या विहिरींमधूनच नैसर्गिक वायूही बाहेर येतो. परंतु पूर्वीच्या काळात हा वायू साठवण्याचे किंवा वाहून नेण्याचे तंत्रज्ञान उपलब्ध नसल्यामुळे तो जाळून टाकला जात असे. नंतरच्या काळात या वायूला पाइपांमधून वाहून नेऊन आणि त्यावर दाब देऊन त्याला बंदिस्त करण्यात आणि त्याला टँकरमध्ये भरून दुसरीकडे पाठवण्यात यश मिळाले. यामुळे एक अत्यंत महत्त्वाचे इंधन म्हणून या वायूचाही उपयोग व्हायला लागला. 'शेल ऑईल' आणि 'ऑईल सँड' या नावांची

खनिजतेलाची 'अपारंपरिक' (Unconventional) रूपे सापडल्यानंतर आता जगातले सगळे तेल पूर्णपणे संपून जायची भीती कमी झाली आहे.

विज्ञान आणि तंत्रज्ञानामध्ये झालेल्या प्रगतीमुळेच अजूनपर्यंत भूमिगत तेल आणि नैसर्गिक वायू ही इंधने उपयोगासाठी उपलब्ध आहेत. परंतु त्यांचे साठे जगातल्या सर्व देशांमध्ये सारखे नाहीत. एकूण साठ्यांच्या निम्मे साठे मध्यपूर्व आशियामध्ये आहेत, तर दक्षिण व उत्तर अमेरिका आणि रशियामध्ये मोठे साठे आहेत. मध्यंतरीच्या शांततेच्या काळात तेलाची वाहतूक करण्यामध्ये राजकीय किंवा तांत्रिक अडथळे नव्हते. तेव्हा जगभरामधील सगळ्या देशांना त्यांच्या गरजेइतके तेल मिळत राहिले होते. त्यामुळे इंधनाची समस्या भासत नव्हती. परंतु अलीकडच्या काळात मध्यपूर्वेत युद्ध सुरू झाल्यानंतर तिथून होणारा पुरवठा अचानक जवळजवळ थांबला आहे आणि जगभरातच त्याचा तुटवडा निर्माण झाला आहे. ही परिस्थिती बराच काळ तशीच राहिली असल्यामुळे सगळीकडे एकच खळबळ माजली आहे.

जीवाश्मइंधनांची सुलभ उपलब्धता कमी होत जाणे ही एक समस्या आहेच, शिवाय त्यांना जाळण्यामुळे पृथ्वीवरील पर्यावरणाचा होत असलेला ऱ्हास आणि जागतिक तापमानात होत असलेली वाढ हा दुसरा एक महत्त्वाचा मुद्दा अलीकडे चर्चिला जात आहे. निसर्गनियमांप्रमाणे सर्व प्राणी श्वासोच्छ्वास करताना हवेमधील प्राणवायू शरीरात घेऊन कार्बन डायऑक्साइड वायू हवेत सोडत असतात आणि वनस्पती त्यांची वाढ होण्यासाठी हवेमधील कार्बन डायऑक्साइड शोषून घेऊन हवेमध्ये प्राणवायू सोडत असतात. सगळ्या झाडांची पाने गळून पडतात, ती कालांतराने कुजतात किंवा आग लागून जळतात आणि त्यातून कार्बन डायऑक्साइड वायू हवेत जातो, तर झाडांची वाढ होताना त्यांची पाने हवेमधून त्या वायूला शोषून घेतात. या नैसर्गिक प्रक्रियांमधून हवेमधील या वायूचे प्रमाण संतुलित राहत असते. गेली लक्षावधी वर्षे हे चक्र सुरळीत चालत राहिले होते. परंतु मानवाने हस्तक्षेप केल्यामुळे निसर्गाचे हे चक्र बिघडत गेले. याचे आकृतीत दाखवलेले संभाव्य दुष्परिणाम टाळण्यासाठी हवेमधील कार्बनचे प्रमाण कमी करणे आणि त्यासाठी जीवाश्म इंधने जाळणे थांबवणे आवश्यक आहे यावर सर्व जगाचे एकमत होऊ लागले आहे. आज जीवाश्मइंधने जाळून मानवाला रोज जी ऊर्जा मिळत आहे ती त्याशिवाय कशी मिळवता येईल, आणि ही इंधने खणून काढून त्यांचेवर प्रक्रिया करण्याच्या उद्योगात जी अब्जावधी डॉलरची गुंतवणूक केलेली आहे ती कोण वाया जाऊ देईल, यावर विचारमंथन होऊन नव्या दिशांनी प्रयत्न सुरू आहेतच. त्या दिशेने कोणी वीस वर्षांचा तर कोणी पन्नास वर्षांचा कार्यक्रम आखून त्याची सावकाश अंमलबजावणी करायच्या योजना आखल्या जात आहेत.

हजारो वर्षांपूर्वीपासून जगभरातले लोक पिण्यासाठी दारू निर्माण करत आले आहेत. फळे किंवा धान्ये बंद जागेमध्ये कुजतात तेव्हा काही सूक्ष्म जिवाणू त्यांचे विघटन करतात. यामधून त्यांना ऊर्जा मिळते आणि त्यांची वाढ होते, पण मद्यार्क (अल्कोहोल) आणि कार्बन डायऑक्साइड वायू तयार होतात. हा वायू बुडबुड्याच्या रूपात बाहेर पडतो आणि द्रवरूप अल्कोहोल शिल्लक राहते, त्याला गाळून त्याचे सेवन केले जाते. याचे इथेनॉल असे रासायनिक नाव आहे. ही दारूसुद्धा ज्वालाग्राही असते हे माहीत असले तरी पूर्वी तिचा उपयोग इंधन म्हणून केला जात नव्हता. अंतर्गत ज्वलन इंजिनावर (आयसी इंजिनवर) संशोधन करत असताना पूर्वीच्या त्या काळात पेट्रोल उपलब्ध नव्हते आणि दारू सहजपणे मिळत होती म्हणून काही संशोधकांकडून त्या वेळी इथेनॉल मद्यार्काचा इंधन म्हणून उपयोग केला



इंधन

गेला होता. इंधनसमस्या आल्यानंतर पुन्हा एकदा जगाला याची आठवण झाली. उसाच्या उत्पादनात आघाडीवर असलेल्या ब्राझीलने मोठ्या प्रमाणावर इथेनॉल उत्पादन सुरू केले आणि ते पेट्रोलमध्ये मिसळून मोटारींच्या इंजिनात टाकायला सुरुवात केली. आज ब्राझील हा इथेनॉल ब्लेंडिंगमधील सर्वात यशस्वी देश मानला जातो. भारत आणि इतर काही देशही आता या 'अल्कोहोल'कडे एक इंधन म्हणून वळले आहेत. इथेनॉल किंवा इथाइल अल्कोहोलसारखेच दिसणारे आणि रासायनिक गुणधर्म असलेले मिथेनॉल किंवा मिथाइल अल्कोहोल नावाचे एक अत्यंत विषारी रसायन आहे. त्याचे उत्पादन स्वस्तात होत असल्यामुळे औद्योगिक उपयोगासाठी त्याचे मोठ्या प्रमाणावर उत्पादन केले जाते. पण, ते चुकून पेयात मिसळले गेले तर प्राणघातक ठरते. हे मिथेनॉलसुद्धा पेट्रोलमध्ये मिसळून इंजिनमध्ये जाळता येऊ शकेल, हे लक्षात घेऊन मिथेनॉलवर किंवा मिथेनॉलने ब्लेंड केलेल्या पेट्रोलवर चालू शकणारी इंजिने चीनमध्ये निर्माण केली गेली आहेत. भविष्यकाळात या तंत्रज्ञानात वाढ होण्याची शक्यता आहे.

हवा, पाणी आणि मातीतच असंख्य प्रकारचे सूक्ष्म जीव राहत असतात, त्यांना कुठलाही निर्जीव सेंद्रिय पदार्थ सापडला की ते त्याचा ताबा घेऊन त्याचे विघटन सुरू करतात, त्यातून त्यांची वाढ होते, तसेच पाण्याची वाफ, मिथेन आणि कार्बन डायऑक्साइड वायू तयार होऊन वातावरणात पसरतात आणि गंधक, फॉस्फरस यांसारख्या मूलद्रव्यांची संयुगे मातीत मिसळून तिला सुपीक करतात. सेंद्रिय पदार्थ कुजणे ही एक अशा प्रकारे उपयुक्त अशी नैसर्गिक रासायनिक आणि जैविक प्रक्रिया आहे. ग्रामीण भागात ऊर्जेसाठी या तत्त्वावर आधारलेल्या गोबर गॅस यंत्रणेला प्रोत्साहन देण्यात आले होते. गेली काही वर्षे अनेक उत्साही कार्यकर्ते नागरी विभागातील कचऱ्यापासून बायोगॅस निर्माण करण्यावर मन लावून काम करत आहेत. कचरा गोळा करत असतानाच ओला कचरा या नावाखाली सेंद्रिय कचरा वेगळा गोळा केला जातो, त्यापासून इंधन तयार करण्याची यंत्रणा काही शहरांमध्ये बसवली गेली आहे. यापासून बायोगॅस निर्माण करून त्यापासून वीजनिर्मिती करण्याचे प्रकल्प बांधले जात आहेत. हे प्रयोग पूर्णपणे यशस्वी झाले तर त्यातून कचऱ्यापासून मुक्ती आणि ऊर्जानिर्मिती असे दोन फायदे मिळतील, जीवाश्मइंधन वाचेल आणि पर्यावरणातही सुधारणा होईल.

सूर्यामध्ये सतत असंख्य अणुसंमीलने (न्युक्लियर फ्यूजन) होत असतात आणि त्यामधून निघणारी प्रचंड ऊर्जा सूर्यकिरणांमधून विश्वात सगळ्या दिशांना पसरवली जात असते. या किरणांमध्ये न्हात असलेल्या पृथ्वीवरील वातावरण उन्हामुळे उबदार राहते आणि येथील जीवनाचा आधार बनते. सूर्याच्या किरणांमधून आपल्याला प्रकाश आणि उष्णता मिळते. सूर्यप्रकाशामुळे आपल्याला सगळे जग दिसते आणि दिवसाच्या उजेडात आपण अनंत कामे करत असतो. उन्हाच्या उष्णतेचा उपयोग करून समुद्रातल्या पाण्यातून मीठ बाहेर काढले जाते, घराघरांमध्ये धुतलेले कपडे वाळवणे आणि पापड सुकवणे यांसारखी कामे केली जातात. हे शेकडो वर्षांपासून चाललेले आहे.

गेल्या शतकात फोटोव्होल्टाइक सेलचा शोध लागल्यानंतर सूर्यकिरणांपासून वीज तयार करता येणे शक्य झाले. सुरुवातीच्या काळात असे सेल तयार करायला खूप खर्च येत असे आणि त्यांची कार्यक्षमता फार कमी असल्यामुळे त्यातून मिळणाऱ्या विजेचे प्रमाण अत्यल्प असे. त्यामुळे त्यांचा उपयोग मुख्यतः कृत्रिम उपग्रहांमध्येच केला जात असे. त्यावरील उपकरणांना लागणारी वीज जमिनीवरून पाठवता येत नाही आणि बॅटऱ्यांचे आयुष्य मर्यादित असल्यामुळे अंतराळात दीर्घकाळ वास्तव्यासाठी सूर्याचा प्रकाश हेच ऊर्जेचे मुख्य साधन असते.

तंत्रज्ञानामधील प्रगतीमुळे फोटोव्होल्टाइक सेलचा उत्पादनखर्च कमी होत गेला आणि त्यांच्या कार्यक्षमतेत वाढ झाली. यामुळे जमिनीवर आपल्याला आवश्यक असलेली वीजही या मार्गाने तयार करण्याचा विचार होऊ लागला. विशेषतः पर्यावरणाच्या प्रदूषणाबद्दल जागरूकता वाढल्यानंतर ही वीज थोडी महाग असली तरी जास्त उपकारक आहे असे सार्वमत होऊ लागले. सरकारी धोरण याला अनुकूल झाल्यामुळे घरांवर सोलर पॅनेल बसवायला सबसिडी मिळते आणि कमी खर्च येतो. तो केल्यानंतर मिळणारी वीज फुकट असल्यामुळे विजेचे बिल कमी भरावे लागते. यामुळे आजकाल याचा प्रसार होत आहे. याशिवाय उन्हामधील उष्णतेचे विजेत रूपांतर न करता त्याचा थेट वापर करून पाणी गरम करणारे सोलर हीटर आणि स्वयंपाक करण्यासाठी सोलार कूकर यांसारखी साधने निघाली आहेत. त्यांचा उपयोग करण्यामुळे गॅसचा वापर कमी होतो आणि इंधनसमस्या सोडवण्यात मदत होते.

सौरऊर्जेला अक्षय ऊर्जा म्हटले जाते. सूर्य चोवीस तास आपल्याजागी तळपत राहून सगळ्या विश्वात प्रकाशकिरणे पसरवत असला तरी ती एका वेळी पृथ्वीच्या अर्ध्याच भागावर पडत असतात. त्या वेळी दुसऱ्या अर्ध्या भागात काळोखी रात्र असते. शिवाय पावसाळ्यात सूर्य ढगाआड जातो तेव्हा सोलर सेल वीज निर्माण करू शकत नाहीत. अशा कारणांमुळे सौरऊर्जा दिवसाचे चोवीस तास उपलब्ध





सौरऊर्जा

असत नाही. दुसरी गोष्ट म्हणजे आता आपल्याला रात्रीच्या वेळी विजेचे दिवे लावून उजेडात राहण्याची सवय लागली आहे. त्या वेळी वीजच नसेल आणि विजेवर चालणारी उपकरणे आणि यंत्रे बंद पडली तर आधुनिक काळात जगणे कठीण होऊन जाईल. म्हणून आपल्याला इतर मार्गांनीही वीजनिर्मिती करावीच लागणार आहे. आजही घराघरांवर सोलार पॅनेल उभारून लहान प्रमाणात वीज तयार केली जात आहेच. मोठ्या प्रमाणात वीजउत्पादन करण्यासाठी आता सोलार फार्म उभारले जात आहेत. एका पॅनेलमधून थोडीच वीज मिळू शकते यामुळे या केंद्रांसाठी खूप मोठ्या जागेवर हजारो पॅनेल उभी करावी लागतात, मात्र त्यासाठी मोठी मोकळी जागा व्यापली जाते. सगळ्या सुपीक जमिनीवर अन्नाच्या उत्पादनासाठी शेती करणे आवश्यक आहे. इतर ठिकाणीही शक्य असेल तिथे निरनिराळी झाडे लावणेही अत्यंत आवश्यक आहे आणि झाडांच्या सावलीत सौरऊर्जा तयार करता येत नाही. यामुळे वाळवंटांसारख्या ज्या रुक्ष जागेचा दुसरा कुठलाही उपयोग नसतो अशा जागी हे सोलार पार्क उभे केले जात आहेत.

'सोलार थर्मल पॉवर स्टेशन' या एका वेगळ्या प्रकारामध्ये हजारो आरसे अशा प्रकारे बसवलेले असतात की ते सूर्याच्या प्रकाशाला एका विशिष्ट बिंदूवर केंद्रित करतात. त्या ठिकाणी ठेवलेल्या रिसीव्हरमध्ये विशिष्ट प्रकारचा द्रव (उदा. मोल्टन सॉल्ट – वितळलेले क्षार) असतो. प्रचंड उष्णतेमुळे हा द्रव ३००°c ते १०००°c पर्यंत तापतो. या उष्ण द्रवाचा वापर करून स्टीम जनरेटरांमध्ये पाण्याची वाफ तयार केली जाते. या वाफेने टर्बाइनमधील चक्रे फिरवून त्यांना जोडलेल्या जनरेटरमधून वीज तयार होते. हे तंत्रज्ञान अजून विकसित होत आहे. भविष्यकाळात अशी अनेक सौरविद्युतकेंद्रे बांधली जातील अशी शक्यता आहे. यात एक असा फायदा आहे की हे उष्ण वितळलेले क्षार दिवसभर साठवून ठेवून त्यांचा उपयोग रात्री करता येणे शक्य आहे, अशा प्रकारे ही सौरऊर्जा रात्रीसुद्धा मिळू शकेल.

पावसाद्वारे निसर्गातून पुन्हा पुन्हा उपलब्ध होत असलेल्या पाण्याचा वापर करून जलविद्युतनिर्मिती केली जाते. हा एक जुनाच शाश्वत ऊर्जास्रोत आहे. या प्रक्रियेत वायूप्रदूषण होत नसल्याने ती पर्यावरणाला पूरक आहे आणि यामुळे 'ग्लोबल वार्मिंग' रोखण्यास मदत होते. धरण बांधण्याचा सुरुवातीचा खर्च जास्त असला, तरी एकदा प्रकल्प कार्यान्वित झाला की त्याचा देखभालीचा आणि वीजनिर्मितीचा खर्च इतर प्रकल्पांच्या तुलनेत कमी असतो. जलविद्युतकेंद्रे खूप कमी वेळात सुरू किंवा बंद करता येतात किंवा त्यामधील विजेची निर्मिती सहजपणे कमी-जास्त करता येते. विजेची मागणी अचानक वाढते तेव्हा ही केंद्रे काही मिनिटांत पूर्ण क्षमतेने वीज पुरवू शकतात. अशा तऱ्हेने बहुगुणी असलेली ही वीज सर्वात चांगली समजली जाते आणि तिचा अधिकाधिक उपयोग करणे चांगले आहेच. याला भौगोलिक मर्यादा आहेत. भरपूर पाऊस पडत असेल अशा डोंगराळ क्षेत्रात धरण बांधून जलाशय निर्माण करता येण्याइतकी सोयीस्कर मोकळी जागा मिळणे कठीण असते. त्या जागेवर आधी रहात असलेल्या लोकांचे दुसऱ्या कुठल्या तरी जागी पुनर्वसन कसे करायचे यांसारखे जटिल प्रश्न असतात. शिवाय आपल्याकडे फक्त पावसाळ्यात पाऊस पडतो आणि धरणाच्या जलाशयाची ठरावीक क्षमता असते, ते भरल्यानंतर पडलेल्या पावसाचे पाणी वाहूनच जाते. पावसाळ्यात साठवून ठेवलेले पाणी वर्षभर पुरवावे लागते. अशा कारणांमुळे या विजेच्या निर्मिती आणि वापरावर मर्यादा येतात.



जलऊर्जा

वातावरणात निर्माण होणाऱ्या हवेच्या प्रवाहाचा वापर करून वीजनिर्मिती करण्याचा पवनऊर्जा हा आणखी एक शाश्वत आणि प्रदूषणमुक्त मार्ग आहे. वाहता वारा त्याच्या वाटेत येणाऱ्या पवनचक्कीच्या भल्या मोठ्या पात्यांना गरागरा फिरवतो. पात्यांच्या फिरण्यामुळे निर्माण झालेली गतिजऊर्जा (Kinetic Energy) एका शाफ्टद्वारे जनरेटरला दिली जाते आणि जनरेटर या यांत्रिक ऊर्जेचे रूपांतर विद्युतऊर्जेत करतो. यात कुठल्याही हरित वायूचे उत्सर्जन होत नसल्यामुळे हा मार्ग पर्यावरणपूरक आहे. यासाठी जमिनीवरील खूप जागा व्यापली जात नाही, त्यामुळे या पवनचक्कीच्या खाली शेती करता येते. ही चक्की उभारण्यासाठी बराच खर्च येत असला तरी पुढे इंधनासाठी काही खर्च करावा लागत नाही. असे अनेक फायदे आहेत. परंतु वारा सतत वाहत नाही आणि नेहमी एकाच वेगाने वाहत नाही, त्यामुळे त्यातून होणारी वीजनिर्मिती सातत्यपूर्ण नसते. पण इतर वीजकेंद्रांच्या जोडीने काम करून पवनऊर्जा विजेचा पुरवठा करू शकते. ठिकठिकाणच्या हवामानाचा आणि वाहत्या वाऱ्यांचा अभ्यास करून भारतातल्या काही निवडक ठिकाणी पवनचक्क्या उभ्या केल्या असून आज भारत हा जगातील पवनऊर्जानिर्मितीमध्ये आघाडीवर असलेल्या देशांपैकी एक झाला आहे.

अलीकडच्या काळात पर्यावरणाच्या काळजीमुळे विजेवर चालणाऱ्या मोटारगाड्यांच्या उपयोगात प्रचंड वाढ होत आहे. या शतकात विकसित झालेल्या लिथियम आयन बॅटरीमुळे या क्षेत्रात क्रांतिकारक बदल झाला आहे. ही बॅटरी काही मिनिटांत चार्ज होते आणि गाडी फुल स्पीडने धावू शकते तसेच दूरवर जाऊ शकते. शिवाय तिचे इंजिन आवाज करत नाही आणि धूर ओकत नाही. आता प्रगत देशांमध्ये ठिकठिकाणी पेट्रोल पंपासारखीच चार्जिंग स्टेशनेही उभारली आहेत. यामुळे इलेक्ट्रिक व्हेइकलांची संख्या झपाट्याने वाढत आहे. परंतु या मोटारींना चार्ज करण्यासाठी लागणारी वीज कुठल्या तरी औष्णिक विद्युतगृहांमधून येत असेल, तर त्या ठिकाणी प्रदूषण होईलच, ते वैश्विक दृष्टीने पाहता हानिकारकच असेल. अशा गाड्या प्रामुख्याने शहरांमध्येच चालत असतील तर त्यांच्यामुळे शहरांमधले वातावरण प्रदूषित न होता स्वच्छ राहते हा लाभ आहे. भविष्यकाळात देशातली सगळीच वीज जलविद्युत, सौरऊर्जा आणि वायुऊर्जा यांसारख्या अक्षय श्रोतांमधून तयार व्हायला लागली तर सगळा देश प्रदूषणमुक्त होऊ शकेल.

विसाव्या शतकाच्या मध्यावर अणुशक्तीपासून वीज तयार करण्याचा नवा पर्याय उपलब्ध झाल्यावर विकसित देशांमध्ये त्या केंद्रांची लाट आली होती, पण किरणोत्साराच्या प्रश्नामुळे काही वर्षांनी ती ओसरली. रशिया आणि जपानमध्ये झालेल्या दोन गंभीर स्वरूपाच्या अपघातांमुळे अशा केंद्रांना जगभर विरोध होत गेला आणि नवी अणुविद्युतकेंद्रे बांधणे कमी झाले होते. या केंद्रामुळे पर्यावरणाचे प्रदूषण होत नसल्यामुळे आता पुन्हा या केंद्रांचा नव्याने विचार व्हायला लागला आहे. भारतासह अनेक देश स्मॉल मॉड्युलर रिॲक्टर (एसएमआर) नावाचे नव्या पिढीचे अधिक सुरक्षित आणि खात्रिलायक रिॲक्टर डिझाइन करण्यावर भर द्यायला लागले आहेत. या बाबतीतल्या धोरणात बदल करून खाजगी क्षेत्रालाही यात प्रवेश देण्याच्या दृष्टीने पावले उचलली जात आहेत. कदाचित नजीकच्या भविष्यकाळात ही केंद्रे मोठ्या प्रमाणावर बांधली जाण्याची शक्यता आहे.

विजेची निर्मिती आणि तिचा वापर याबाबतीत एक महत्त्वाचा मुद्दा असा आहे की देशामधली विजेची मागणी सतत कमीजास्त होत असते. रोज सकाळी कामाच्या वेळी आणि संध्याकाळी म्हणजे 'पीक अवर'मध्ये विजेला जास्त मागणी असते, तर मध्यरात्री ती अगदी कमी होते. उन्हाळ्यात पंखे आणि एसीमुळे आणि हिवाळ्यात हीटरमुळे मागणी वाढते. दिवाळीसारख्या सणउत्सवांमध्ये अधिक मागणी येते. परंतु वीजनिर्मितीकेंद्रात कुठल्याही क्षणी जेवढी वीज तयार होत असते ती त्याच क्षणी ग्राहकांपर्यंत पोचत असते, तिला वीजकेंद्रांमध्ये साठवून ठेवता येत नाही. अणुशक्तीकेंद्रांसारखी केंद्रे सतत एकाच ठरावीक मेगावॉट इतक्या दराने वीज पुरवत असतात, त्यांना मागणीनुसार वीजपुरवठा वाढवता किंवा कमी करता येत नाही. तर सौरऊर्जाकेंद्रे फक्त दिवसा लख्ख उजेडात काम करतात आणि पवनऊर्जाकेंद्रे तर जितक्या जोराने वारा वाहील त्या प्रमाणात वीजनिर्मिती करतात आणि वाऱ्याचा जोर अनिश्चित असतो. यामुळे विजेची मागणी आणि पुरवठा यांचा मेळ घालत राहणे हे वीज ग्रिडच्या व्यवस्थापनातील सर्वात मोठे आव्हान असते. आता देशामधील सगळी वीजनिर्मितीकेंद्रे राष्ट्रीय ग्रिडला जोडली गेली आहेत. त्यामुळे एका राज्यातील विद्युतनिर्मितीकेंद्रामधून दुसऱ्या राज्यामधल्या ग्राहकांना वीज पुरवठा करता येणे शक्य आहे. विजेची मागणी आणि पुरवठा यांची सांगड घालण्यासाठी आज प्रामुख्याने पुढील मार्गांचा अवलंब केला जातो.

१. वीज कंपन्या हवामान, सण-उत्सव, सुट्ट्या आणि मागील वर्षांचा डेटा वापरून कोणत्या वेळी किती वीज लागेल याचा अंदाज वर्तवतात आणि त्यानुसार उत्पादन करण्याचे नियोजन करतात.

२. मागणीनुसार वीजकेंद्रांचे दोन प्रकारांत वर्गीकरण

केले जाते,

अ) बेस लोड पॉवर प्लांटस – कोळसा आणि अणुऊर्जा प्रकल्प हे चोवीस तास ठरावीक वेगाने वीज निर्माण करतात. हे पायाभूत मागणी पूर्ण करतात. कोळशावर चालणाऱ्या केंद्रांमधील वीजनिर्मिती तो प्लँट बंद न करता काही प्रमाणात कमी जास्त करता येते.

आ) पीक लोड पॉवर प्लांटस – मागणी एकदम वाढते, तेव्हा जलविद्युत किंवा गॅसआधारित वीजकेंद्रे सुरू केली जातात किंवा त्यांची वीजनिर्मिती वाढवली जाते. ही केंद्रे काही मिनिटांत सुरू करता येतात किंवा थांबवता येतात आणि कमीजास्त क्षमतेवर चालवता येतात. ती तशी चालवून जास्तीची मागणी पुरवली जाते.

३. सौर आणि पवन ऊर्जा ही पूर्णपणे निसर्गावर अवलंबून असते. दिवसा मुबलक सौर ऊर्जा उपलब्ध असते, पण संध्याकाळी आणि रात्री ती नसते. ही वीज उपलब्ध असताना काही मर्यादेपर्यंत बॅटरीज चार्ज करून त्यांच्यामध्ये साठवून ठेवता येते आणि ती उपलब्ध नसते तेव्हा बॅटरींना डिस्चार्ज करून ती साठवलेली वीज वापरता येते किंवा ज्या वेळी ही वीज उपलब्ध असेल तेव्हा तिच्यावर पंप चालवून पाणी उंचावर चढवून ठेवून आणि नसेल तेव्हा त्या पाण्याला पुन्हा खाली सोडून त्यापासून जलविद्युत निर्मिती करता येते. याला पंप्डप स्टोअरेज म्हणतात. अशा प्रकारे तंत्रज्ञानाचा वापर करून ही ऊर्जा साठवली जाते आणि गरज पडेल तेव्हा वापरली जाते. सौर थर्मल वीजकेंद्रामध्येही वितळलेले उष्ण क्षार जरूर पडली तर दिवसा साठवून ते रात्री उपयोगात आणता येतात.

४. आधुनिक तंत्रज्ञानाद्वारे मोठ्या उद्योगांना विनंती केली जाते, की जास्तीत जास्त मागणी असताना त्यांनी त्यांचा विजेचा वापर कमी करावा, त्याच्या बदल्यात त्यांना विजेच्या दरात सवलती दिल्या जातात. याला 'डिमांड साइड मॅनेजमेंट' म्हणतात. परदेशांमध्ये तर डिमांड आणि सप्लायनुसार रोजच दिवसातल्या वेगवेगळ्या काळात विजेचे दर वेगळे असतात. ज्यांना शक्य असेल असे उद्योग त्यानुसार दिवसा किंवा रात्री कोणत्या वेळात कोणते काम करून वीज कमी किंवा जास्त वापरायची ते ठरवतात.

याशिवाय ऑफिसांना आणि कारखान्यांना निरनिराळ्या दिवशी सुट्या देऊन मागणी समतोल ठेवण्याचा प्रयत्न केला जातो. पावसाळ्यात विजेची मागणी कमी असताना काही बेसलोड स्टेशने मेंटेनन्ससाठी शटडाऊन घेतात आणि इतर दिवसात ती न थांबता चालवत ठेवतात. अखेरचा उपाय म्हणून भारनियमन करून काही ठिकाणचा वीजपुरवठा काही काळ बंद केला जातो.

समारोप :

पर्यायी इंधनांचा, किंबहुना पर्यायी ऊर्जासाधनांचा वेध घेण्याचे प्रयत्नही आधीपासून सुरू आहेत आणि त्यांना अंशतः यश मिळत आहे. पेट्रोलऐवजी इथेनॉल आणि एलपीजीऐवजी बायोगॅस यांचा वापर आणि या इंधनांऐवजी विजेपासून उष्णता निर्माण करणारी किंवा वाहनांना चालवण्याची साधने उपलब्ध आहेत. सौरऊर्जा, पवनऊर्जा आणि अणुऊर्जा या मार्गाने वीज तयार करण्याच्या यंत्रणा कार्यान्वित झालेल्या आहेत. पाण्याचे पृथःक्करण करून हायड्रोजन वायू बाहेर काढायचा आणि त्याचा इंधन म्हणून उपयोग करून त्यावर वाहने चालवायची ही कल्पना पुढे येत आहे. समुद्राच्या लाटांमधील ऊर्जेवर यंत्रे चालवण्यावर संशोधन चालले आहे.

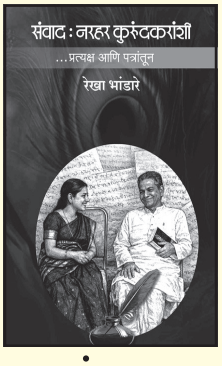
असे काही उपाय आहेत. तरी त्यामध्ये काही अडचणीही आहेत. इथेनॉलचा वापर सध्या तरी पेट्रोलमध्ये २० टक्क्यापर्यंत मिसळून पेट्रोलची खपत कमी करण्यासाठी होत आहे. पूर्णपणे इथेनॉलवर चालणारी वाहने अजून तयार होऊन बाजारात आलेली नाहीत. उसाची लागवड करून त्यापासून इथेनॉल तयार करण्याच्या नादात देशातले अन्नधान्याचे उत्पादन कमी होता कामा नये. उसाच्या लागवडीला खूप जास्त पाणी लागते आणि त्या पिकाला जास्त दिवस लागतात. सध्या आपला देश अन्नधान्याच्या बाबतीत स्वयंपूर्ण झाला असल्यामुळे काही ठिकाणी उसाच्या पिकाला पाणी देणे परवडते आहे, पण यावर प्रश्नचिन्ह आहेच. वातावरणात होत असलेल्या बदलांमुळे कधी पाऊस कमी झाला तर ही परिस्थिती बदलू शकते. बायोगॅसच्या उत्पादनासाठी किती कमी किमतीत किती बायोमास गोळा करता येणे शक्य होईल यावर मर्यादा आहेत. सौर ऊर्जा आणि पवनऊर्जा यांची निर्मिती करण्यासाठी लागणारी यंत्रसामग्री तयार करण्यासाठी आधी किती ऊर्जा खर्च करावी लागते आणि तितकी ऊर्जा किती काळात तयार होऊ शकते याची गणिते तपासावी लागतील. कदाचित सध्या ही यंत्रसामग्री स्वस्तात उपलब्ध असलेली इतर प्रकारची वीज वापरून तयार केली जात असल्यामुळे कमी किमतीत मिळू शकत असली तरी अजूनही सरकारला

त्यावर सबसिडी द्यावी लागते. औष्णिक वीजनिर्मिती पूर्णपणे थांबवल्यानंतर ही परिस्थिती अशीच राहणार नाही. अनिश्चित अशी सौर आणि पवनऊर्जा उपलब्ध होते तेव्हा तिचा वापर करून बॅटरी चार्ज किंवा पंपअप स्टोअरेजमध्ये किंवा उष्ण वितळलेल्या क्षारांमध्ये किंवा पाण्यापासून हायड्रोजन निर्माण करून अशा वेगळ्या स्वरूपात ती ऊर्जा साठवून ठेवण्याच्या कल्पनांवर संशोधन चालले आहे, परंतु यासाठी लागणाऱ्या यंत्रसामग्रीवर किती खर्च येईल आणि त्यामुळे अखेर ग्राहकाला त्या विजेची किंमत किती पडेल याची गणिते अजून प्रस्थापित व्हायची आहेत. विज्ञान आणि तंत्रज्ञानात झपाट्याने होत असलेल्या प्रगतीमुळे हे खर्च लवकरच आटोक्यात येतील अशी आशा आहे. आणखी काही अनपेक्षित प्रश्न पुढे यायला लागले आहेत. वीजनिर्मितीकेंद्रात तयार झालेली वीज ट्रान्स्मिशन टॉवर बांधून आणि उंचावरून जाणाऱ्या तारांमधून ग्राहकांकडे पाठवली जाते. काही ठिकाणी यामुळे त्या भागातून उडत जाणाऱ्या माळढोक या पक्ष्यांना धोका निर्माण झाला असल्याची तक्रार काही पर्यावरणवाद्यांनी केली आहे, तर या तारांमधून जाणाऱ्या विजेमुळे खाली जमिनीवर असलेल्या पिकांवर वाईट परिणाम होईल असे म्हणत काही शेतकरी त्याच्या विरोधात आंदोलन करायला लागले आहेत. अशा प्रकारचे प्रश्नही सामोपचाराने सोडवून त्यातून मार्ग काढावे लागतील.

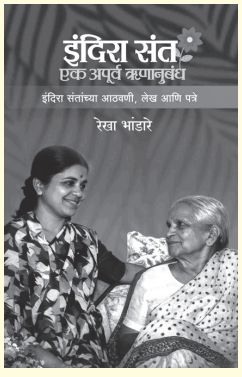
तंत्रज्ञानातले मूलभूत बदल क्षणार्धात करता येत नाहीत. वेगळ्या प्रकारच्या वीजनिर्मितीसाठी वेगळी यंत्रसामग्री आणि पायाभूत सुविधा बसवाव्या लागतात, वीजनिर्मिती आणि तिच्या पुरवठ्याला बाधा न आणता त्या बदलायला खूप वेळ लागतो. मधल्या काळात जी इंधने उपलब्ध असतील त्यांचा काळजीपूर्वक जपून उपयोग करून त्यांना जास्तीत जास्त काळ पुरवणे आणि त्यासाठी आपल्या काही अनावश्यक गरजा कमी करणे आवश्यक आहे. काही ठिकाणी सध्या होत असलेला ऊर्जेचा अपव्यय टाळता आला तरी त्याचा मोठा फायदा मिळेल. आज असे दृश्य दिसते की जुनी पिढी कदाचित नाइलाजाने जेवढी काटकसर करत होती तशी पुढची पिढी करत नाही. कुठलीही वस्तू वापरा आणि टाकून द्या (यूज ॲंड थ्रो) ही प्रवृत्ती वाढत आहे. तिला आळा घालण्यासाठी समाजाचे प्रबोधन करणे जरुरीचे आहे. भविष्यकाळात इंधनाचा तुटवडा वाढतच गेला आणि विजेचे दर आणखी खूप वाढले तर समाजाला काटकसर करणे भागच पडेल. आजपासून पन्नास वर्षांनी नेमकी काय परिस्थिती असेल ते नेमके सांगता येणे कठिण असले तरी तेव्हासुद्धा आतासारखेच निरनिराळ्या श्रोतांमधून ऊर्जा मिळवणे आणि तिचे व्यवस्थापन करत राहणे होतच राहणार आहे.

– आनंद घारे
abghare@yahoo.co

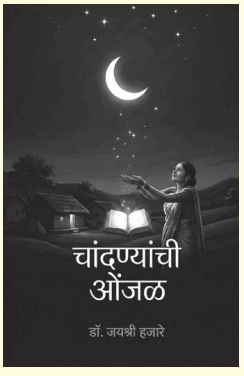
ग्रंथाली



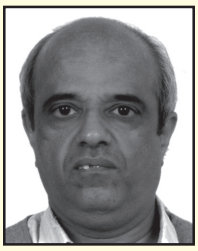
संवाद
नरहर कुरुंदकरांशी
रेखा भांडारे
मूल्य : २५० रुपये
सवलतीत : १५० रुपये



इंदिरा संत
रेखा भांडारे
मूल्य : २५० रुपये
सवलतीत : १५० रुपये



चांदण्याची ओंजळ
जयश्री हजारे
मूल्य : ३०० रुपये
सवलतीत : १८० रुपये



पेशीस्तरावर ऊर्जाव्यवस्थापन

डॉ. राजेंद्र देवपूरकर

ऊर्जा हा एक अत्यंत व्यापक, विस्तारित आणि बहुआयामी विषय आहे. सध्या हा विषय बहुचर्चित झाला आहे कारण वाढत्या लोकसंख्येमुळे कोळसा, पेट्रोल अशासारखे ऊर्जासाठे संपून जातील अशी भीती आपल्याला वाटत आहे आणि ही भीतीही सत्य आहे. म्हणून नवनवीन ऊर्जा शोधल्या जात आहेत. त्यांचा उल्लेख नवीनीकरणीय, अपारंपरिक ऊर्जा (Renewable) असा केला जातो. वारा, सूर्यप्रकाश, धबधब्यांचे पाणी, अणुऊर्जा, जैविक ऊर्जा (Bioenergy) असे विविध पर्याय समोर येत आहेत. सदरच्या अंकात तत्सबंधी आपल्याला भरपूर माहिती मिळणार आहेच.

विविध अंगांनी चर्चा होणे अपेक्षित आहे. ऊर्जा म्हणजे काय? कशासाठी ऊर्जा लागते? ऊर्जा मोजायची कशी? ऊर्जा मिळवण्याचे यंत्र-तंत्र कोणती? ऊर्जेसंबंधी भौतिक (Physics) शास्त्र, रासायनिक शास्त्र ऊर्जा अक्षय्यता? असे एक ना अनेक प्रश्न हाताळावयास लागतील आणि तसे ते ह्या अंकात हाताळले गेले जातील असे मला वाटते. कोणच्याही सजीवाला ऊर्जा का लागते, हे समजून घेणे हा ह्या लेखाचा प्रमुख हेतू आहे.

सुरुवातीला ऊर्जेसंबंधी काही आवश्यक माहिती आपण घेऊया.

१) ऊर्जा ही अदृश्य असून तिचा परिणाम दृश्य असतो. ऊर्जेला भौतिक द्रव्य (Matter) असे अस्तित्व नाही. परंतु ऊर्जा आणि द्रव्य ह्याचा संबंध आइन्स्टाइन ह्या शास्त्रज्ञाने दिला तो खालीलप्रमाणे $E = MC^2$.

येथे E म्हणजे ऊर्जा (energy), M द्रव्याचे माप आणि c म्हणजे प्रकाशाचा वेग. प्रकाशाचा वेग निर्वात वातावरणात सुमारे ३००,००० किलोमीटर प्रति सेकंद एवढा प्रचंड आहे. ह्या वेगाचा वर्ग ९,००,००,००,००,०० होतो. म्हणजे एवढे लक्षात येते की अत्यंत अल्पशा द्रव्यात प्रचंड ऊर्जा आहे.

२) कॅलरी, किलोकॅलरी, ज्यूल, किलोवॅट अशी परिमाणे ऊर्जेसंदर्भात वापरली जातात.

कॅलरी म्हणजे १ मिलीलिटर (एक लिटरचा हजारावा भाग) पाण्याचे तापमान १ डिग्री सेन्टिग्रेडने वाढवण्यासाठी लागते तेवढी उष्णता. एक लिटर पाण्याचे तापमान १ डिग्री सेन्टिग्रेडने वाढवण्यासाठी १ किलोकॅलरी उष्णता लागते.

३) एक किलोकॅलरी उष्णतेला काही वेळा अन्न कॅलरी (Food calary) असे म्हणतात. फूड कॅलरीसाठी नुसते C (capital letter) असे लिहितात आणि त्याचा अर्थ किलोकॅलरी असा होतो. काही वेळा small calorie आणि large calorie असा शब्दप्रयोग केला जातो.

४) एका माणसाला दर दिवशी २००० ते २५०० कॅलरी म्हणजे अन्न-कॅलरी (२०००-३००० C) लागतात म्हणजे २००० ते ३००० किलोकॅलरी लागतात, हे लक्षात घ्यायला हवे.

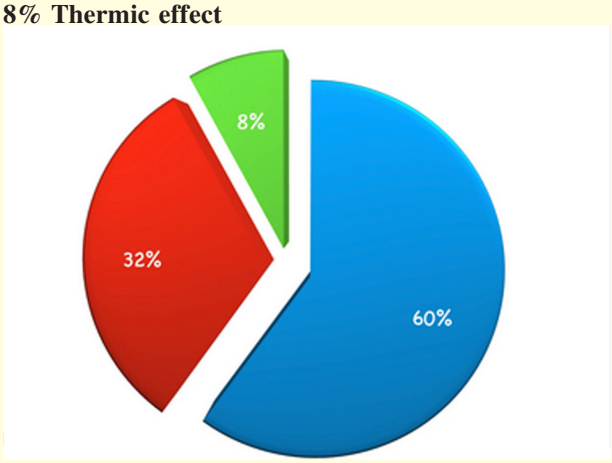
(लहान मुलांना १००० ते १८००, मोठ्या मुलांना १४०० ते ३२०० आणि प्रौढास १५०० ते ३००० किलोकॅलरी.

५) कार्बोहायड्रेट आणि प्रथिनापासून आपल्याला साधारणतः ४ ते ५ किलोकॅलरी एका ग्रामपासून मिळतात. तर १ ग्राम स्निग्ध पदार्थापासून साधारणतः दुप्पट म्हणजे १० किलोकॅलरी मिळतात.

६) जरुरीपेक्षा जास्त कॅलरी खाल्या असता यकृत (Liver) किंवा स्नायूमध्ये कार्बोहायड्रेट या स्वरूपात किंवा खूपच जास्त कॅलरी खाण्यात येत असतील तर स्निग्धस्वरूपात (ज्याला आपण चरबी म्हणतो) साठवण होते.

७) शरीराला बाहेरून कॅलरी कमी मिळाल्या तर साठवलेले कार्बोहायड्रेट आणि स्निग्धपदार्थ वापरता येतात.

60% Resting metabolism
32% Physical activity
8% Thermic effect



आकृती १

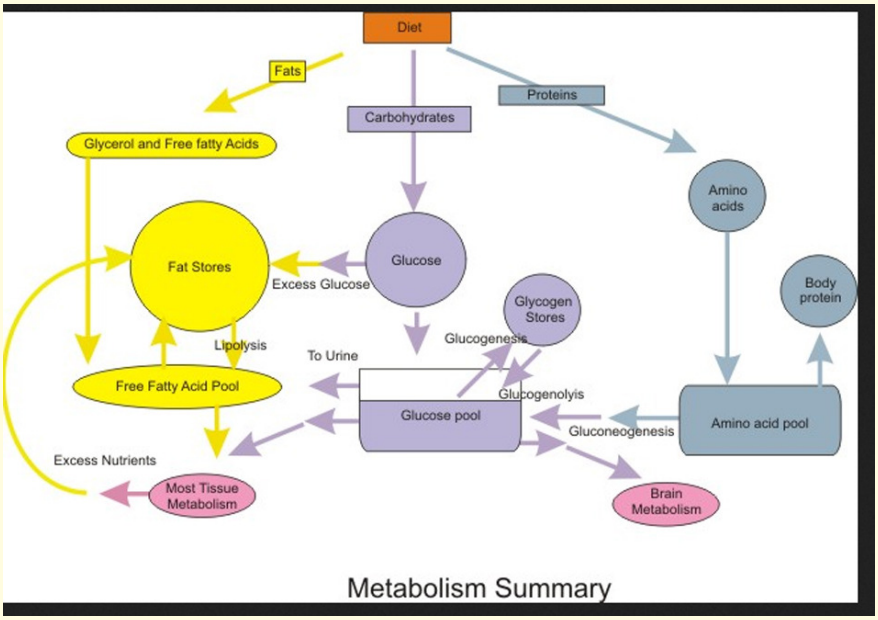
शारीरिक पातळीवर ऊर्जा व्यवस्थापन : आकृती १ मध्ये आपण घेत असलेल्या ऊर्जेचा वापर कसा होतो हे दाखवले आहे. ह्या ऊर्जेपैकी सुमारे फक्त ३०% ऊर्जा ही आपल्या हालचाली आणि त्याद्वारे चाललेल्या कामासाठी लागते. ही ऊर्जा अर्थातच आपल्या स्नायूद्वारे होत असलेल्या हालचालींना वापरली जाते. सुमारे १०% ऊर्जा शरीराचे तापमान ३७ डिग्री सेल्सिअस ठेवण्यासाठी वापरली जाते. उरलेली ६०% ऊर्जा चयापचय क्रिया– Metabolism साठी वापरली जाते. वजनाने मेंदू हा आपल्या शरीराचा साधारणपणे फक्त २% असूनही तो सुमारे २०% ऊर्जा वापरतो. ६०% भागातील ऊर्जा वापरणारे इतर अवयव आहेत– यकृत (२५%), हृदय (७–१० %) मूत्रपिंडे (८–१० %).

६०% ऊर्जा चयापचय क्रियांसाठी लागते ह्याचा सविस्तर विचार आपण करणार आहोत. तत्पूर्वी आकृती २ मध्ये चयापचय क्रिया एकत्रितपणे मांडल्या आहेत त्या जर पाहिल्या तर पेशी स्तरावरचे ऊर्जाव्यवस्थापन उद्‌बोधक ठरेल. आपल्या आहारातून जाणारे तीन प्रमुख घटक आहेत कार्बोहाइड्रेट्स, स्निग्ध (Fats) आणि प्रथिने (Proteins). आहारातील प्रथिने आपल्याला अमिनो आम्ले पुरवतात. प्रथिन रेणू म्हणजे वीस निरनिराळ्या अमिनो आम्लांची साखळी असते. प्रथिनामध्ये एकूण अमिनो आम्लांची संख्या मात्र निरनिराळी असते; साधारणपणे ही संख्या १०० ते ४००च्या घरात असते. माणसाच्या शरीरात टायटीन नावाचे प्रथिन आहे त्यामध्ये २८००० अमिनो आम्ले असतात. अर्थातच एकूण अमिनो आम्ले वीस असतात म्हणजे आम्लाची पुनरावृत्ती होते हे आपल्या सहज लक्षात येईल. इंग्रजीमध्ये २६ अक्षरे आहेत त्यापासून जसे विविध शब्द बनतात आणि प्रत्येक शब्दाला एक स्पेल्लिंग म्हणजे अक्षरांचा क्रम असतो. अगदी ह्याचप्रमाणे प्रत्येक प्रथिनांचा अमिनो आम्लांचा क्रम असतो. आपल्या आहारातील प्रथिनापासून आपण अमिनो आम्ले मिळवतो आणि त्यांना पुन्हा एकदा वेगळ्याच क्रमाने लावून आपली प्रथिने बनवतो हे आकृतीत दाखवले आहे. स्निग्ध आणि कार्बोहायड्रेट आपल्याला ऊर्जा पुरवतात. कार्बोहायड्रेटपासून ग्लुकोज तर स्निग्धांपासून फॅटी ॲसिड मिळतात, त्या सर्वांचा एकमेकांशी असलेला संबंध आकृती २ मध्ये आपणास पाहता येईल. अर्थात ह्या सर्व चयापचयक्रिया पेशींच्या अंतर्भागात चालतात. सजीव पेशी म्हणचे ह्या चयापचय क्रिया ठीकपणे चालणे. पेशी सजीव म्हणजे पेशींनी बनलेले अवयव सजीव आणि म्हणून शरीर सजीव.

पेशीपातळीवर ऊर्जाव्यवस्थापन : आपल्या एकूण ऊर्जेपैकी फार मोठा भाग, सुमारे ६० टक्के ऊर्जा, चयापचयासाठी खर्ची पडतो असे आपण आकृती १ मध्ये पाहिले. आपल्याला लागणारी ऊर्जा ही हालचाल करण्यासाठी लागते असे म्हणजे थोडे अप्रस्तुत ठरेल. आता आपण पेशींमधील चयापचयासाठी ऊर्जा का लागते ह्या मागचे विज्ञान थोडक्यात समजून घेऊयात. सजीव हे निर्जीवापेक्षा खूपच निराळे आहेत. ते खातात पितात, स्वतःची वाढ आणि पुनरुत्पादन करतात. त्यांच्या पेशी लक्षावधी निरनिराळ्या रासायनिक क्रिया अगदी सुसूत्रपणे करतात. सजीवांचे ते एक अद्‌भुत विश्व पाहिल्यावर प्रथम प्रथम शास्त्रज्ञांना काहीतरी विशेष जैविक असा गुणधर्म सजीवाच्या ठिकाणी आहेसे वाटत होते. ह्याला vital force असे समजले जात होते. ह्या vital force मुळे अगदी असंभव अशा गोष्टी सजीव करू शकतात असा समज होता. ह्या vital force ला प्राणशक्ती/चैतन्यशक्ती/जीवनशक्ती असे संबोधता येईल.

शास्त्राच्या अनेक – जसे की भौतिक, रासायनिक, जैविक, इलेक्ट्रॉनिक, मॅग्नेटिक अगदी गणित, संगणक शास्त्रसुद्धा अशा शाखा उपशाखा आहेत. सर्वच शाखा आणि उपशाखांमध्ये नवनवीन शोध लागत असतात. सर्वच शाखांचा विकास एकमेकांशी पूरक, एकमेकांवर प्रभाव करत होत असतो. ह्यातूनच जैवशास्त्रज्ञांना उमगले, तत्त्वपेशीसुद्धा, भौतिक आणि रासायनिक नियमानुसारच काम करतात. Cells obey the laws of Physics and Chemistry हा मंत्र म्हणजे vitalism तत्त्वज्ञाचा अंत ठरला. आज कोणत्याही जैविक घटनेचा इतर सर्व शाखीय तंत्रे वापरून खोलवर अभ्यास होत आहे.

६० टक्के ऊर्जा चयापचयासाठी (Metabolism) लागते



आकृती २

म्हणजे काय? ह्यामागचे भौतिक आणि रासायनिक विज्ञान जरा समजून घेऊ. जीवशास्त्र हा खरोखरच फार मोठ्या प्रमाणावर आंतरशाखीय (interdisciplinary) विषय आहे. उत्तम भौतिकशास्त्र (Physics), रसायनशास्त्र, गणित येणे हे जीवशास्त्राच्या अभ्यासात आवश्यक झाले आहे. आपण जीवशास्त्राच्या खोलात जातो तसतसे आपल्याला आंतरशाखीय व्हावे लागते.

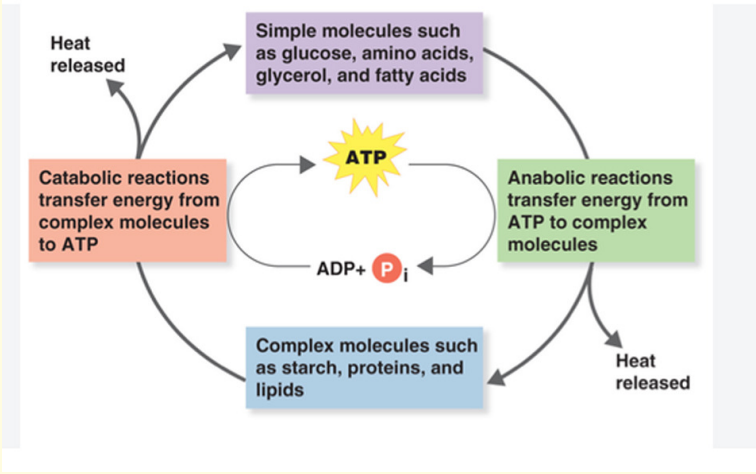
ऊर्जा म्हणजे काय? Abilty to do work (कार्य) अशी एक ऊर्जेची व्याख्या केली जाते. मग कार्य (work) म्हणजे काय? पेशी जे काही करतात ते 'कार्य' ह्या व्याख्येत कसे बसते ह्याचा भौतिकशास्त्राच्या नियमातून विचार करायला हवा. work म्हणजे काम असे म्हटले तर ध्वनीत होणार अर्थ फार निराळा आहे- कोणीतरी मला पेन मागितले आणि मी त्याला दिले हे मी केलेले काम आहे, परंतु 'कार्य' ही एक भौतिक/रासायनिक शास्त्रीय संज्ञा आहे. ती समजून घेतली पाहिजे. सर्वसाधारणपणे पेशी काही मोठ्या प्रमाणावर हालचाल करत नाहीत, त्या 'कार्य' करतात आणि त्यासाठी ऊर्जेची जरुरी असते. हे जरा पुढे जाऊन समजून घेऊ.

Downhill and Uphill Process : निसर्गाचा अतिशय मूलगामी नियम आहे Randomisation of Matter and randomisation of Energy. Randomisation of Matter म्हणजे पदार्थाचे यादृच्छिकीकरण. आपण संकल्पना समजून घेऊ.

पसरट बशीत पाणी घेतले (समजा की १० मिलीलिटर) आणि बरेच दिवस तसेच ठेवले तर पाणी हळूहळू हवेत निघून जाते. बशीमध्ये पाण्याचे रेणू १० मिलीलिटर ह्या आकारमानात होते; हवेत हे सर्व रेणू विखुरले गेले आणि अनिर्बंध एवढ्या आकारमानात गेले. पाण्याचे Randomisation झाले. एक काचेची बशी, समजा की ५० ग्राम वजनाची, आपल्या हातून पडून तिचे ५-६ तुकडे झाले म्हणजे ५० ग्राम द्रव्य एकसंध बशीमध्ये होते ते आता ५-६ तुकड्यामध्ये वाटले गेले हे द्रव्याचे randomisation. हे बशीचे तुकडे एकत्र करून किंवा वर फेकून (तुकडे खाली फेकून झाले होते ना म्हणून वर फेकून म्हटले) एकसंध बशी कधीही होणार नाही. वस्तू तुटतात, मोडतात हा Randomisation of Matter ह्या नियमाचा परिणाम आहे. टेकडीवरून सहज खाली पडणे होते, पण टेकडीच्या पायथ्यापासून कोणी तितक्याच सहजपणे वर जात नाही, म्हणून सहज होणाऱ्या क्रियांना Downhill शब्द वापरला आणि उलट क्रियेला Uphill शब्द वापरला. Uphill क्रियांना ऊर्जा लागते तर Downhill क्रियांना ऊर्जा लागत नाही. घराच्या फुटलेल्या टाकीतून पाणी सहज विनाऊर्जा खाली येते, पण खालील पाणी टाकीत पंपाच्या मदतीशिवाय जात नाही. Downhill क्रिया ऊर्जा बाहेर सोडतात. Uphill क्रियांना ऊर्जा लागते आणि म्हणून त्यांना भौतिकशास्त्रात कार्य ही संज्ञा देतात.

पेशीमधील Downhill and Uphill क्रिया

पेशीमध्ये चालणाऱ्या चयापचय (metabolism) क्रियांचे दोन प्रकार असतात : अपचय म्हणजे कॅटॅबोलिसम



आकृती ३

(Catabolism) आणि चयन म्हणजे अनाबोलिझम (Anabolism)

कॅटॅबोलिसम ह्या क्रियांमध्ये मोठ्या रेणूंचे छोट्या रेणूंमध्ये तुकडे केले जातात. अर्थातच हे निसर्गाच्या Randomisation of matter या नियमांशी सुसंगत आहे. हे downhill आहे आणि ह्यामध्ये ऊर्जा मुक्त होणार आहे.

ह्याउलट छोट्या रेणूंपासून अमिनो आम्ले, न्यूक्लीओटाइड आणि प्रथिन आणि DNA/RNA आणि ह्यापासून पेशींचे अवयव (organelles) ह्या क्रिया anabolism आहेत. येथे randomisation of matter च्या उलटे होते आहे.

झाडांच्या पानामध्ये CO_2 आणि सूर्यप्रकाश ह्यांच्या मदतीने अन्न तयार होते हे आपल्या सर्वांना अगदी शाळेपासून शिकवले आहे. ते पुढे दिल्याप्रमाणे समीकरणाने दाखवतात. आपल्या सहज लक्षात येईल की ६ कार्बन अणू स्वतंत्र अशा ६ कार्बन डायऑक्साइड रेणूमधले ग्लुकोज ह्या एका रेणूमध्ये आले आहेत. म्हणजे Randomisation of matterच्या उलटे झाले आहे. म्हणून ह्या क्रियेला ऊर्जा लागेल. सूर्यप्रकाश ह्या क्रियेला ऊर्जा पुरवतो.

$6\ CO_2 + 12\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ H_2O + 6O2$

ह्या क्रियेमध्ये सहा CO_2 रेणूमधील सहा कार्बन एका ग्लुकोज रेणूमध्ये आले आहेत. हे Randomisation of matter ह्याच्या उलटे आहे म्हणून ह्याला ऊर्जा लागते. सूर्यप्रकाश ही ऊर्जा पुरवतो. आपण ह्याला प्रकाशसंश्लेषण (Photosynthesis) म्हणतो.

आपल्या लक्षात आले असेल की पेशी रासायनिक क्रियापासून ऊर्जा मिळवते आहे. ह्याला रासायनिक ऊर्जा असे म्हटले जाते. पेशीच्या अंतर्भागातील तापमान सर्व पेशीभर एकसारखे असते हे लक्षात घ्या. कोठेही पेशीमध्ये एक भाग गरम; एक भाग गार असा तापमानाचा फरक नसतो त्यामुळे पेशीमध्ये उष्णता ह्या ऊर्जेचे वहन होत नाही. ह्यामुळे पेशी उष्णता ह्या स्वरूपात ऊर्जा वापरू शकत नाहीत.

ऊर्जा व्यवस्थापनामध्ये ATP/ADP ह्याचा फार मोठा वाटा आहे. रासायनिक क्रिया पुढीलप्रमाणे आहे –

ATP + water ↔ ADP + Pi + ऊर्जा

ह्या रासायनिक क्रियेमध्ये किती ऊर्जा मुक्त होईल ते पेशीमधील –ATP ADP आणि Pi ह्यांचे प्रमाण (concentration) आणि ह्या क्रियेचा संतुलन स्थिरांक (equilibrium constant) ह्यावर अवलंबून असते. ह्या क्रियेचा संतुलन स्थिरांक आणि पेशींमधील ATP, ADP आणि Pi ह्यांचे प्रमाण पाहता नियमानुसार

ATP → ADP ही क्रिया downhill असून ऊर्जा देणारी आहे. अशा परिस्थितीत ATP तयार करणे ही किया uphill म्हणजे ऊर्जा लागणारी आहे. पेशी कॅटॅबॉलिसममध्ये ग्लुकोजपासून विघटन करून ऊर्जा मुक्त करतात ती ऊर्जा ATP तयार होण्यासाठी वापरली जाते. कॅटॅबोलिसममध्ये मुक्त होणारी ऊर्जा वापरून ATP बनतात आणि दुसऱ्या ऊर्जेवर अवलंबून अशा Uphill क्रियांना हे –ATP → ADP ह्या क्रियेने ऊर्जा देतात. म्हणजे ATP ऊर्जा घेणारा आणि पाहिजे तेथे ऊर्जा देणारा महत्त्वाचा रेणू आहे. (आकृती ३) पेशीमधले नुसते ऊर्जा व्यवस्थापनच नाही तर सर्वच क्रिया भौतिकशास्त्र व रसायनशास्त्राच्या नियमानुसारच चालतात. जीवशास्त्राच्या उत्तम अभ्यासासाठी विद्यार्थी इतर विज्ञानशाखांमध्ये पुरेसा तयार असणे ही आधुनिक काळाची गरज होते आहे. इतर शाखा आवडत नाहीत किंवा अवघड वाटतात म्हणून जीवशास्त्र विषय निवडा असे येणाऱ्या काळात चालणार नाही, असे मला वाटते.

– डॉ. राजेंद्र देवपूरकर
writetodeopurkar@gmail.com



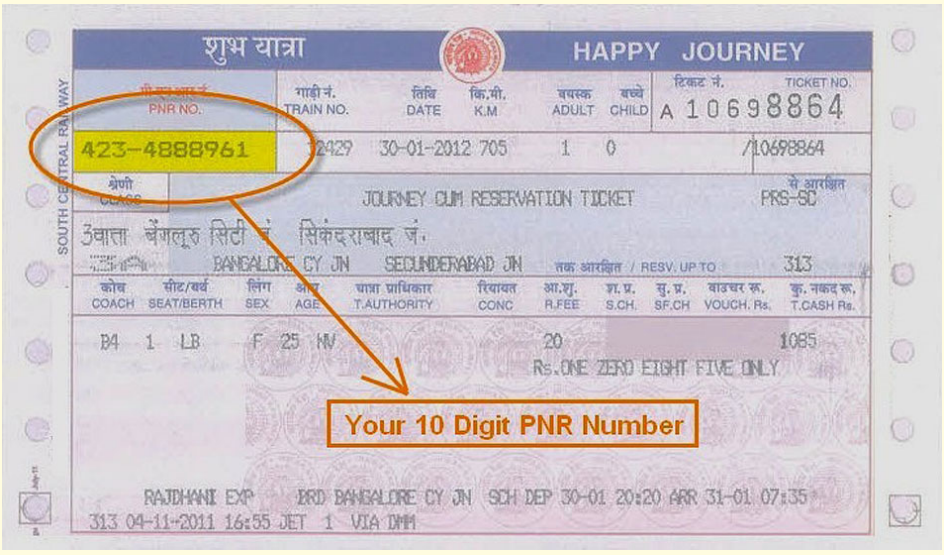
आकडे बोलतात - १२

रेल्वे तिकिटावरचा PNR क्रमांक काय सांगतो?

हेमंत लागवणकर

रेल्वेचे तिकीट हातात पडले की सर्वसाधारणपणे आपले लक्ष दोनच गोष्टींकडे जाते - गाडी किती वाजता आहे आणि आपली सीट किंवा बर्थ कोणता आहे. तिकिटाच्या वरच्या बाजूला एका कोपऱ्यात छापलेल्या दहा अंकी क्रमांकाकडे मात्र आपण फारसे गांभीर्याने पाहत नाही. हा दहा अंकी क्रमांक म्हणजे पीएनआर क्रमांक होय. PNR म्हणजे Passenger Name Record, म्हणजेच प्रवाशाच्या नावाची नोंद. मात्र PNR हा स्वतः प्रवाशाचा कायमस्वरूपी ओळखक्रमांक नाही. तो एखाद्या विशिष्ट आरक्षणाच्या नोंदीला दिलेला एक स्वतंत्र संदर्भक्रमांक आहे. या क्रमांकाशी संबंधित असलेल्या संगणकीय नोंदीमध्ये प्रवाशाचे नाव, वय, लिंग, प्रवासाची तारीख, गाडी क्रमांक, कुठून कुठे जायचे आहे, कोणत्या वर्गाने प्रवास करायचा आहे, बर्थची पसंती, कोटा, तिकिटाचा सध्याचा आणि सुरुवातीचा आरक्षण-स्थितीचा तपशील अशा अनेक गोष्टी साठवलेल्या असतात. म्हणूनच रेल्वेच्या संकेतस्थळावर किंवा इतर अधिकृत माध्यमातून PNR क्रमांक टाकला की आपल्याला आपल्या रेल्वे आरक्षणाची सद्यःस्थिती कळते. पण PNR ची ही संकल्पना अचानक निर्माण झालेली नाही. हा क्रमांक कसा तयार झाला, का क्रमांक दहा अंकीच का आहे, त्यातील प्रत्येक अंकाचा अर्थ काय, या क्रमांकामध्ये आपल्या संपूर्ण रेल्वे प्रवासाची माहिती कशी दडलेली असते या प्रश्नांची उत्तरे शोधली की भारतीय रेल्वेच्या संगणकीकरणाची एक रंजक कहाणी समोर येते.

आज आपण मोबाइलवर काही सेकंदांत रेल्वेच्या प्रवासाचे आरक्षण करू शकतो. परंतु १९८०च्या दशकाच्या सुरुवातीच्या काळात परिस्थिती अगदी वेगळी होती. आरक्षणाची माहिती कागदावर हाताने लिहून नोंदवली जात असे. विविध ठिकाणी उपलब्ध जागांची माहिती तपासणे, ती नोंदवणे, आरक्षणाची यादी तयार करणे आणि नंतर बदल झाल्यास ती दुरुस्त करणे ही सर्व कामे मोठ्या प्रमाणावर हाताने होत असे. भारतीय रेल्वेचे जाळे विस्तारत होते आणि प्रवाशांची संख्या सातत्याने वाढत होती. त्यामुळे केवळ कागदावर हाताने नोंदवलेल्या पद्धतीने आरक्षण व्यवस्था चालवणे अधिकाधिक कठीण होत होते. यातूनच संगणकीकरणाची गरज निर्माण झाली.



भारतीय रेल्वेने आरक्षण प्रणाली संगणकीकृत करण्याचा निर्णय घेतला आणि त्यासाठी भारतीय रेल्वेने तत्कालीन 'Computer Maintenance Corporation' (CMC) या सरकारी कंपनीची मदत घेतली. या प्रकल्पाचे प्रायोगिक तत्त्वावरील काम १९८५मध्ये दिल्ली येथे सुरू झाले. १५ नोव्हेंबर १९८५ रोजी तामिळनाडू एक्स्प्रेस आणि ग्रँड ट्रंक एक्स्प्रेस या दिल्ली ते मद्रास (आताचे चेन्नई) दरम्यान धावणाऱ्या दोन रेल्वे गाड्यांसाठी दिल्लीहून संगणकीकृत आरक्षणाची सुरुवात झाली, अशी ऐतिहासिक नोंद उपलब्ध आहे. सुरुवातीच्या या प्रणालीचे नाव IMPRESS म्हणजेच 'Integrated Multi-Train Passenger Reservation System' असे होते. जुन्या काळातील संगणकांवर चालणाऱ्या या प्रणालीचे सॉफ्टवेअर फोर्ट्रान (FORTRAN) या भाषेत लिहिले गेले होते. त्यानंतर १९८६मध्ये ही व्यवस्था मुंबई, कोलकाता, चेन्नई आणि सिकंदराबाद अशा प्रमुख केंद्रांपर्यंत विस्तारली. पुढे या स्वतंत्र आरक्षण केंद्रांतील संगणकीय प्रणालींना परस्परांशी जोडण्याचे मोठे काम करण्यात आले.

संगणकीकृत आरक्षणामध्ये प्रत्येक आरक्षणाची स्वतंत्र नोंद संगणकाच्या डेटाबेसमध्ये ठेवणे आवश्यक होते. एखाद्या प्रवाशाने आपले आरक्षण रद्द केले, बदलले किंवा त्याची सद्यःस्थिती तपासली तर त्या नोंदीपर्यंत पटकन पोहोचण्यासाठी प्रत्येक आरक्षणासाठी एक स्वतंत्र संदर्भ क्रमांक आवश्यक होता. यातूनच PNR क्रमांकाची संकल्पना पुढे आली. २००२मध्ये इंटरनेट वापरून रेल्वे आरक्षण करण्याची सोय उपलब्ध झाली. त्यामुळे रेल्वे प्रवासाचे आरक्षित तिकीट काढण्यासाठी तिकीट खिडकीवर प्रत्यक्ष जाण्याची गरज उरली नाही. पुढे IRCTCच्या माध्यमातून संगणकीकृत आरक्षण सर्वसामान्यांच्या मोबाइल आणि संगणकापर्यंत पोहोचले. आज आपण घरबसल्या आपल्या रेल्वेप्रवासाचे आरक्षण करू शकतो.

भारतीय रेल्वेच्या संगणकीकृत आरक्षणाशी संबंधित अधिकृत कागदपत्रांमध्ये PNR ला दहा अंकी, संगणकीय प्रणालीमार्फत निश्चित करण्यात आलेला आणि आरक्षण ओळखण्यासाठी वापरला जाणारा एक स्वतंत्र क्रमांक असल्याचे स्पष्ट केले आहे. म्हणजेच, आपण PNR क्रमांकाला जणू आपल्या रेल्वेतिकिटाचा 'database address' म्हणू शकतो. याचा अर्थ, तिकिटावर छापलेला दहा अंकी PNR क्रमांक तुमचे नाव, गाडी किंवा सीट किंवा बर्थ क्रमांक, आरक्षणाची सद्यःस्थिती थेट सांगत नाही; मात्र तो या क्रमांकाशी संबंधित आरक्षणाची नोंद दाखवा, असे संगणकीय प्रणालीला सांगतो आणि आपल्याला आपल्या आरक्षणाची अचूक माहिती मिळते.

दहा अंकी PNR क्रमांक काय सांगतो, हे एका उदाहरणाच्या मदतीने समजून घेऊ. समजा, एखाद्या प्रवाशाचा PNR क्रमांक 8123456789 आहे. या क्रमांकाचे पहिले तीन अंक आणि शेवटचे सात अंक असे दोन भागांत विभाजन केलेले असते. PNR क्रमांकाच्या पहिल्या तीन अंकांमधून संबंधित Passenger Reservation System ची (PRS) माहिती मिळते. तीनपैकी पहिला अंक मोठ्या PRS क्षेत्राशी संबंधित असतो, तर पुढील दोन अंक त्या PRS शी संबंधित कोड दर्शवतात.

भारतीय रेल्वेची संगणकीकृत आरक्षण व्यवस्था नवी दिल्ली, मुंबई, कोलकाता, चेन्नई आणि सिकंदराबाद येथे असलेल्या पाच प्रमुख PRS केंद्रांशी (regional/server nodes) निगडित आहे. या पाच प्रमुख संगणकीय केंद्रांशी देशभरातील हजारो PRS terminals जोडलेले आहेत. PNR चा पहिला अंक कोणत्या प्रमुख PRS केंद्राशी संबंधित असतो हे पुढील तक्त्यावरून समजू शकते.

आपण विचारात घेतलेल्या उदाहरणातील PNR क्रमांकाचे पहिले तीन अंक 812 आहेत. याचा अर्थ, हा क्रमांक मुंबई प्रवासी आरक्षण प्रणालीशी संबंधित आहे.

PNR चा सुरुवातीचा अंक	संबंधित PRS क्षेत्र	संबंधित भौगोलिक रेल्वे क्षेत्र
1	नवी दिल्ली	उत्तर भारत
2 किंवा 3	मुंबई	मध्य व पश्चिम भारत
4 किंवा 5	कोलकाता	पूर्व व ईशान्य भारत
6 किंवा 7	चेन्नई	दक्षिण भारत
8 किंवा 9	सिकंदराबाद	दक्षिण-मध्य भारत

म्हणजेच PNRमधील पहिलाच अंक आपल्याला एक भौगोलिक संकेत देतो. मात्र, PNR चा पहिला अंक तुम्ही ज्या ठिकाणाहून प्रवासाला सुरुवात करणार आहात किंवा जेथून तुम्ही तिकीट काढले आहे ते ठिकाण दर्शवत नाही. हा अंक PRS च्या संरचनेशी संबंधित आहे.

PNR क्रमांकातील उर्वरित सात अंक मुख्यतः PNR ला एक स्वतंत्र ओळख देण्यासाठी संगणकीय प्रणालीकडून तयार केले जातात. या सात अंकांमध्ये गाडी क्रमांक, प्रवासाची तारीख, प्रवाशांची संख्या, बर्थ क्रमांक यांसारखी कोणतीही माहिती थेट किंवा सांकेतिक पद्धतीने दिलेली नसते.

आणखी एक महत्त्वाची बाब म्हणजे, PNR क्रमांक आणि तिकीट क्रमांक वेगवेगळे असतात. कारण, तिकीट हे प्रत्यक्ष प्रवासाचा दस्तऐवज आहे, तर PNR क्रमांक हा आरक्षणाच्या संगणकीय नोंदीचा संदर्भ आहे. एकाच PNR क्रमांकांतर्गत एकापेक्षा अधिक प्रवाशांचे आरक्षण असू शकते. भारतीय रेल्वेच्या आरक्षण प्रणालीनुसार जास्तीत जास्त सहा प्रवाशांचे आरक्षण एकत्रित करता येते. एकत्रितरीत्या केलेल्या या सर्व प्रवाशांचा PNR क्रमांक एकच असतो. म्हणजेच, प्रचलित संगणकीकृत रेल्वे आरक्षण व्यवस्थेत एका PNR क्रमांकावर कमाल सहा प्रवासी असू शकतात, असे आपण म्हणू शकतो.

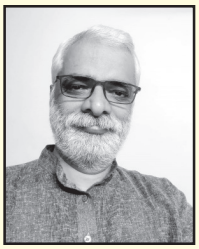
भारतातील रेल्वेमध्ये वापरण्यात येणारी PNR क्रमांकाची पद्धत ही अशा प्रकारची जगातील पहिली व्यवस्था नव्हती. रेल्वेआरक्षण संगणकीकृत करण्याच्या दिशेने सर्वात महत्त्वाचे पहिले पाऊल जपानने टाकले. १९५०च्या दशकात तत्कालीन 'जापनीज नॅशनल रेल्वेज'ने रेल्वेच्या आसन आरक्षणासाठी संगणकाचा वापर करण्याचे प्रयोग सुरू केले आणि त्यातून MARS-1 (Magnetic-electronic Automatic Reservation System) ही प्रणाली विकसित झाली. १९६०मध्ये MARS-1 प्रणाली प्रत्यक्ष कार्यान्वित झाली. सुरुवातीला या प्रणालीमार्फत जपानमधील केवळ चारच एक्स्प्रेस रेल्वे गाड्यांमधील सुमारे ३६०० आसनांचे आरक्षण केले जात होते; मात्र विविध स्थानकांवरील टर्मिनलांना मध्यवर्ती संगणकाशी जोडून आरक्षणाची माहिती तत्काळ उपलब्ध करून देण्याची क्षमता या प्रणालीत होती. त्यामुळे MARS-1 ही जगातील पहिली ऑनलाइन – रिअल टाइम रेल्वे आरक्षण प्रणाली मानली जाते. कालांतराने या प्रणालीमध्ये अनेक सुधारणा केल्या गेल्या.

भारतात १९८५मध्ये संगणकीकृत रेल्वे आरक्षण प्रणाली वापरण्यास सुरुवात झाली. त्यानंतर अमेरिका, फ्रान्स, स्पेन, चीन आणि इतर देशांनीही रेल्वे आरक्षणाच्या संगणकीकृत व ऑनलाइन प्रणाली विकसित केल्या; मात्र प्रत्येक देशाने आरक्षणाची ओळख पटवण्यासाठी भारताच्या PNR सारखीच पद्धत स्वीकारलेली नाही. उदाहरणार्थ, अमेरिकेतील ॲमट्रॅक रेल्वे प्रवाशांच्या आरक्षणासाठी विशिष्ट आरक्षण क्रमांकाचा वापर करते; तर फ्रान्सच्या SNCF रेल्वेमध्ये सहा अक्षरांक असलेला एक संकेतांक वापरला जातो. चीनमध्ये असलेली '12306 चायना रेल्वे' देशव्यापी ऑनलाइन रेल्वे तिकीटप्रणाली प्रवाशाच्या ओळखीशी जोडलेली आहे. तिकीट काढताना प्रवाशाच्या वैध ओळखपत्राची माहिती नोंदवली जाते; परदेशी प्रवाशांसाठी पासपोर्टचा वापर केला जाऊ शकतो. त्यामुळे चीनमध्ये केवळ एखादा आरक्षण संदर्भ पुरेसा नसून आरक्षित केलेले तिकीट आणि प्रवासी यांच्यातील ओळख-संबंधही महत्त्वाचा ठरतो. आपल्याकडेदेखील रेल्वे तिकिटाबरोबर ओळखीचा अधिकृत पुरावा मागितला जातो. ब्रिटनमध्ये मात्र भारताप्रमाणे एकच केंद्रीकृत राष्ट्रीय रेल्वे आरक्षण क्रमांक नाही. तेथे अनेक रेल्वे ऑपरेटर आणि तिकीटविक्री प्रणाली असल्यामुळे विविध प्रकारच्या संदर्भ क्रमांकांचा वापर केला जातो.

थोडक्यात, जगभरात रेल्वे आरक्षणाला एक विशिष्ट ओळख क्रमांक देण्याची संकल्पना समान असली, तरी त्या क्रमांकाची रचना वेगवेगळ्या देशानुसार निरनिराळी आहे. देशातील रेल्वेव्यवस्था किती केंद्रीकृत आहे, किती स्वतंत्र रेल्वे कंपन्या आहेत आणि तिकीटविक्रीची रचना कशी आहे, यानुसार आरक्षणाच्या ओळख क्रमांकाची पद्धतही बदलते. मात्र आपल्याकडे असलेल्या PNR प्रमाणे स्वतंत्र आरक्षण ओळख क्रमांक देण्याची पद्धत सर्वमान्य आहे.

एकेकाळी कागदांच्या गठ्ठ्यांमध्ये शोधावी लागणारी एखाद्या प्रवाशाची आरक्षणनोंद आता एका दहा अंकी क्रमांकाच्या मदतीने काही क्षणांत शोधता येते. हीच संगणकीकरणाची ताकद आहे. प्रवासाचे आरक्षण कन्फर्म झाले आहे का, अशी चौकशी करायला पूर्वी थेट रेल्वे आरक्षणकेंद्रात जावे लागत असे. आता मात्र आपल्या आरक्षणतिकिटाशी संबंधित PNR क्रमांक टाकून आरक्षणाची सद्यःस्थिती आपल्याला आपल्या मोबाइल फोनवर लगेच समजू शकते; हीच PNR क्रमांकाची ताकद आहे.

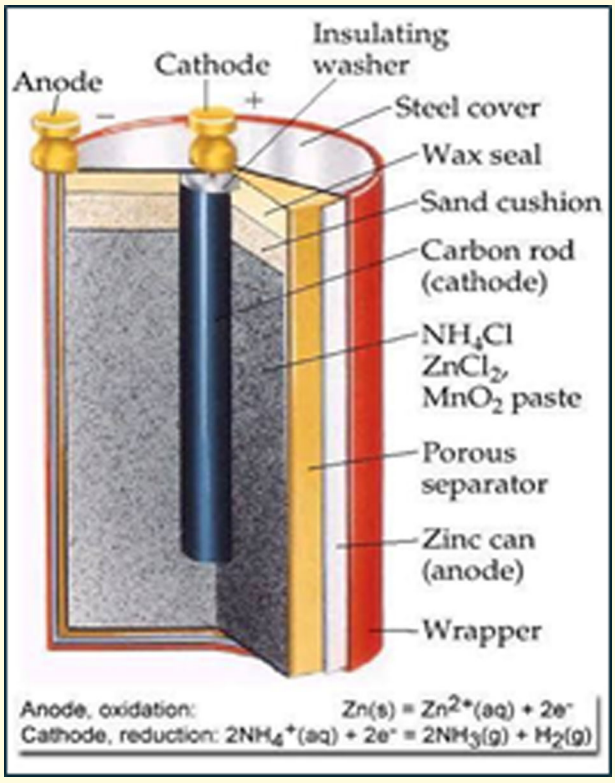
– हेमंत लागवणकर
(विज्ञानप्रसारक आणि शैक्षणिक सल्लागार)
https://hemantlagvankar.com/



बॅटरी सेलचे विज्ञान आणि तंत्रज्ञान

डॉ. जयंत वसंत जोशी

नवरात्राचा पहिला दिवस घटस्थापना म्हणून ओळखला जातो. घट या शब्दाचा अर्थ पात्र किंवा भांडे असा होतो. नवरात्रात एक मातीचा घट (छोटा माठ) नऊ दिवस स्थापित केला जातो. शाळेत असताना साधा विद्युतघट, कोरडा विद्युतघट, व्होल्टाचा विद्युतघट असे शब्द पहिल्यांदा ऐकले. म्हणजे विद्युत ऊर्जा देणारे भांडे म्हणजेच ज्याला आपण 'बॅटरी सेल किंवा बॅटरी' म्हणतो. भारतीय इतिहासात अगस्त्य संहिता या ग्रंथात विद्युतघटाचा उल्लेख असल्याचा दावा केला जातो. अलेस्सांद्रो व्होल्टाने सन १८०० मध्ये आधुनिक विद्युतघट तयार केला. आजच्या आधुनिक जीवनात बॅटरी हा अत्यंत महत्त्वाचा ऊर्जास्रोत बनला आहे.



कोरडा विद्युत घट

हातातील घड्याळ, भ्रमणध्वनी, रिमोट, कॅमेरा, संगणक, मोटारसायकल, विद्युत वाहन आणि सौरऊर्जा साठवणूकप्रणाली अशा असंख्य उपकरणांमध्ये बॅटरीचा वापर केला जातो. आकाराने अतिशय छोट्या घड्याळाच्या सेलपासून शेकडो किलोग्रॅम वजनाच्या विद्युत वाहनाच्या बॅटरी पॅकपर्यंत या तंत्रज्ञानाने मोठी प्रगती केली आहे.

बॅटरीकडे पाहताना आपण अनेकदा तिला केवळ एक वीज साठवणारे उपकरण असे समजतो. प्रत्यक्षात बॅटरीमध्ये वीज थेट साठवली जात नाही; रासायनिक ऊर्जेचे विद्युतऊर्जेत आणि विद्युतऊर्जेचे पुन्हा रासायनिक ऊर्जेत रूपांतर केले जाते. बॅटरीच्या आत इलेक्ट्रॉन आणि धनआयन यांच्या नियंत्रित हालचालीमुळे विद्युतप्रवाह निर्माण होतो. घड्याळातील बॅटरीसेलला अतिशय कमी जागेत, कमी विद्युतप्रवाहात आणि दीर्घकाळ स्थिर काम करणे आवश्यक असते. याउलट आधुनिक इलेक्ट्रिक कारच्या बॅटरीपॅकला मोठ्या प्रमाणात ऊर्जा साठवणे, काही क्षणांत मोठी शक्ती देणे, वारंवार चार्ज-डिस्चार्ज होणे, उष्णता नियंत्रित ठेवणे आणि सुरक्षितपणे हजारो विद्युतआधारित घटकांचे व्यवस्थापन करणे आवश्यक असते. त्यामुळे या दोन्हींच्या मागे असलेले मूलभूत विज्ञान समान असले तरी त्यांची रचना आणि तंत्रज्ञान मोठ्या प्रमाणावर वेगळे आहे.

विद्युतघट

विद्युतघट हा विद्युत-रासायनिक उपकरणाचा मूलभूत घटक आहे. त्यामध्ये रासायनिक अभिक्रियेद्वारे विद्युतविभव निर्माण होतो. सामान्यतः सेलमध्ये दोन इलेक्ट्रोड आणि एक इलेक्ट्रोलाइट असतो. एका इलेक्ट्रोडवर ऑक्सिडेशन, तर दुसऱ्यावर रिडक्शनची प्रक्रिया घडते. या प्रक्रियेत इलेक्ट्रॉन बाह्य परिपथातून वाहतात आणि त्यामुळे विद्युतप्रवाह मिळतो. बॅटरी आणि सेल या संज्ञा अनेकदा समान अर्थाने वापरल्या जातात; परंतु तांत्रिकदृष्ट्या एक सेल हा मूलभूत विद्युत-रासायनिक घटक असतो, तर अनेक सेल जोडून

बॅटरी तयार केली जाऊ शकते. सेलचा एकसर मालिका जोडल्यास व्होल्टेज वाढते, तर समांतर जोडणी केल्यास विद्युतप्रवाह देण्याची क्षमता वाढते.

बॅटरीमागील मूलभूत विज्ञान

बॅटरीच्या विज्ञानाचा पाया विद्युत-रसायनशास्त्रात आहे. बॅटरीमध्ये साधारणपणे ऋण इलेक्ट्रोड, धन इलेक्ट्रोड, इलेक्ट्रोलाइट, विभाजक असे घटक असतात. वापराच्या वेळी दोन्ही इलेक्ट्रोडमधील रासायनिक अभिक्रियांमुळे इलेक्ट्रॉनची निर्मिती होते. हे इलेक्ट्रॉन बाह्य वाहक तारेतून प्रवास करतात आणि त्याच वेळी घनआयन इलेक्ट्रोलाइटमधून हालचाल करतात. इलेक्ट्रॉनचा हा बाह्य प्रवाहच आपण विद्युतप्रवाह म्हणून वापरतो. बॅटरीचे दोन प्रमुख प्रकार आहेत प्राथमिक सेल आणि दुय्यम सेल. प्राथमिक सेल एकदा वापरल्यानंतर त्यातील रासायनिक अभिक्रिया सहज पूर्वस्थितीत आणता येत नाही. त्यामुळे तो सामान्यतः पुन्हा ऊर्जित अवस्था (चार्ज) करण्यासाठी बनवलेला नसतो. घड्याळे, खेळणी आणि काही लहान उपकरणांमध्ये अशा प्राथमिक बॅटऱ्यांचा वापर होतो. दुय्यम सेल मात्र बाहेरून विद्युतऊर्जा दिल्यास त्यातील रासायनिक प्रक्रिया उलट दिशेने घडवून पुन्हा चार्ज करता येतो. लीड-ॲसिड वाहन बॅटरी, निकेल-मेटल हायड्राइड आणि लिथियम-आयन बॅटरी ही त्याची उदाहरणे आहेत. याच पुनर्भरणक्षमतेमुळे आधुनिक इलेक्ट्रिक वाहनांच्या विकासाला मोठी चालना मिळाली.

घड्याळातील बॅटरी सेल

विजेवर चालणाऱ्या घड्याळाला सतत पण अत्यंत कमी विद्युतशक्तीची गरज असते. त्यामुळे घड्याळाच्या बॅटरीमध्ये मोठा विद्युतप्रवाह देण्यापेक्षा लहान आकार, दीर्घ आयुष्य, स्थिर व्होल्टेज आणि कमी वजन यांना महत्त्व असते. पारंपरिक क्वार्ट्झ घड्याळांमध्ये सिल्व्हर-ऑक्साइड बटण सेल मोठ्या प्रमाणावर वापरले जात. अशा सेलचे व्होल्टेज नाममात्र १.५५ व्होल्ट असते आणि त्यांचे व्होल्टेज तुलनेने स्थिर राहते. काही घड्याळांमध्ये लिथियम कॉइन सेलदेखील वापरले जातात. घड्याळाच्या सेलमध्ये सामान्यतः अतिशय छोट्या जागेत इलेक्ट्रोड, इलेक्ट्रोलाइट आणि विभाजक बसवलेले असतात. बाहेरील धातूचे आवरण केवळ संरक्षणासाठी नसून विद्युतसंपर्काचाही भाग असते. घड्याळातील बॅटरीचा सर्वात महत्त्वाचा गुण म्हणजे कमी ऊर्जा वापर असूनही दीर्घकाळ काम करणे. घड्याळातील क्वार्ट्झ ऑसिलेटर अतिशय अचूक वारंवारतेने



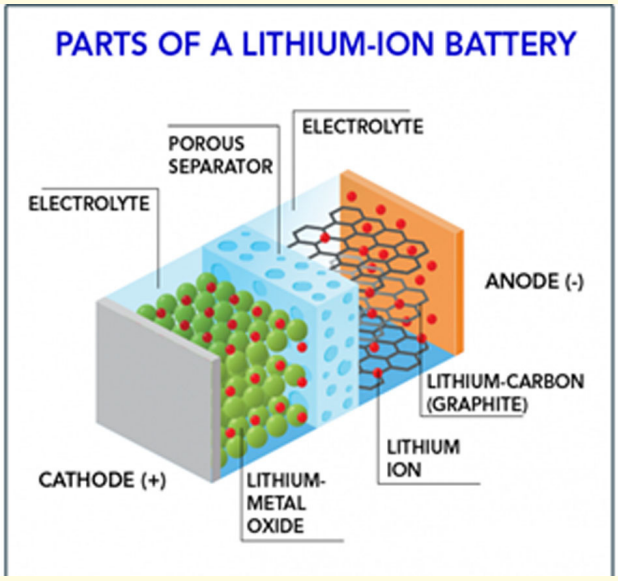
घड्याळातील बॅटरीचा सेल

कंपने निर्माण करतो. इलेक्ट्रॉनिक सर्किट या कंपनांचे मोजमाप करून सेकंद, मिनिटे आणि तास नियंत्रित करते. त्यामुळे अत्यल्प विद्युतऊर्जेत अचूक वेळ मोजता येतो.

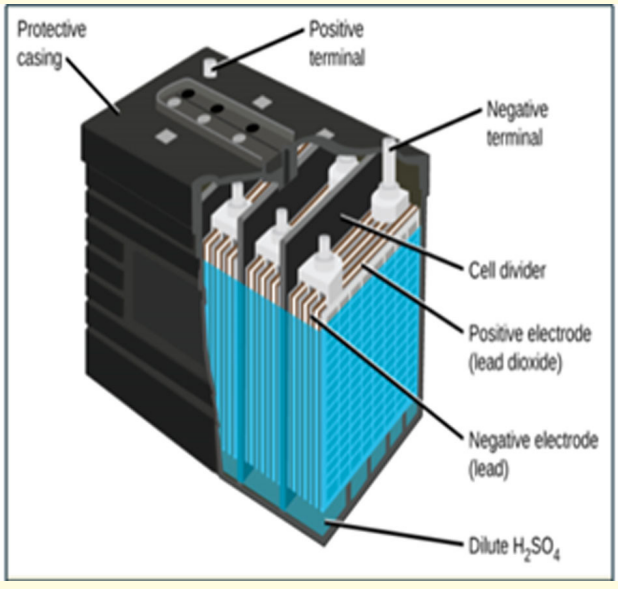
लिथियम हा अत्यंत हलका धातू असून त्यामध्ये उच्च विद्युत-रासायनिक विभव निर्माण करण्याची क्षमता आहे. त्यामुळे लिथियम-आधारित बॅटरींमध्ये वजनाच्या तुलनेत मोठ्या प्रमाणावर ऊर्जा साठवण्याची क्षमता मिळू शकते. लिथियम-आयन बॅटरीमध्ये चार्जिंग आणि डिस्चार्जिंग-दरम्यान लिथियम आयन दोन इलेक्ट्रोडमध्ये ये-जा करतात. इलेक्ट्रॉन मात्र बाह्य परिपथातून प्रवास करतात. अशा प्रकारे आयनची अंतर्गत हालचाल आणि इलेक्ट्रॉनचा बाह्य प्रवाह एकत्रितपणे बॅटरीचे कार्य घडवतात. याच तंत्रज्ञानामुळे मोबाइल फोन, लॅपटॉप, कॅमेरे आणि पुढे इलेक्ट्रिक वाहनांसाठी आवश्यक असलेल्या उच्च-ऊर्जा बॅटरी विकसित करणे शक्य झाले.

पारंपरिक चारचाकी वाहनाची लीड-ॲसिड बॅटरी

पेट्रोल किंवा डिझेल इंजिन असलेल्या पारंपरिक वाहनांमध्ये सामान्यतः १२ व्होल्ट लीड-ॲसिड बॅटरी वापरली जाते. ही बॅटरी इंजिन सुरू करण्यासाठी मोठा विद्युतप्रवाह देते. याशिवाय दिवे, हॉर्न, नियंत्रण प्रणाली, इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे आणि इतर विद्युतप्रणालींना ऊर्जा पुरवते. लीड-ॲसिड सेलमध्ये ऋण इलेक्ट्रोड म्हणून शिसे (Pb), धन इलेक्ट्रोड म्हणून लेड डायऑक्साइड (PbO_2) आणि इलेक्ट्रोलाइट म्हणून सल्फ्युरिक ॲसिडचे द्रावण वापरले जाते. या बॅटरीची एक महत्त्वाची वैशिष्ट्ये म्हणजे



लिथियम आयन बॅटरी



लीड-ॲसिड बॅटरी

ती अल्प काळासाठी खूप मोठा विद्युतप्रवाह देऊ शकते. त्यामुळे इंजिनच्या स्टार्टर मोटारला आवश्यक असलेला सुरुवातीचा प्रवाह मिळतो. मात्र लीड-ॲसिड बॅटरीचे ऊर्जा-घनत्व तुलनेने कमी आहे. त्यामुळे संपूर्ण वाहन चालवण्यासाठी ती वापरल्यास वजन मोठे होईल. म्हणून पारंपरिक वाहनातील बॅटरीचे मुख्य काम इंजिन सुरू करणे आणि वाहनाच्या विद्युतप्रणालींना आधार देणे हे आहे.

इलेक्ट्रिक वाहनातील बॅटरी

इलेक्ट्रिक वाहनात इंजिनऐवजी इलेक्ट्रिक मोटार असते. ही मोटार चालवण्यासाठी मोठ्या प्रमाणात विद्युतऊर्जा आवश्यक असते. त्यामुळे कारमध्ये केवळ एक छोटा सेल नसून अनेक सेल, मॉड्युल आणि नियंत्रणप्रणाली मिळून मोठा बॅटरी पॅक तयार केला जातो. इलेक्ट्रिक कारच्या बॅटरीमध्ये एक सेल विशिष्ट व्होल्टेज आणि ऊर्जा देतो. अनेक सेल एकत्र करून मॉड्युल तयार केले जाते. अनेक मॉड्युल एकत्र करून बॅटरी पॅक तयार केला जातो.

लिथियम-आयन इलेक्ट्रिक वाहन बॅटरी

आधुनिक इलेक्ट्रिक वाहनांमध्ये लिथियम-आयन तंत्रज्ञान महत्त्वाचे आहे. त्यात विविध रासायनिक संयोजनांचा वापर केला जाऊ शकतो. लिथियम-आयन सेलमध्ये ऋण इलेक्ट्रोड म्हणून ग्रॅफाइटसारख्या पदार्थांचा आणि धन इलेक्ट्रोड म्हणून विविध लिथियम-धातू ऑक्साइड किंवा फॉस्फेट पदार्थांचा वापर केला जातो. इलेक्ट्रोलाइट लिथियम आयनना एका इलेक्ट्रोडमधून दुसऱ्याकडे जाण्यास मदत करतो. चार्जिंगच्या वेळी बाह्य चार्जर बॅटरीमध्ये ऊर्जा पुरवतो. लिथियम आयन एका इलेक्ट्रोडच्या दिशेने जातात आणि इलेक्ट्रॉन बाह्य विद्युत परिपथातून त्याच दिशेने संबंधित विद्युत-रासायनिक प्रक्रिया घडवतात. बॅटरी सेल वापराच्या (डिस्चार्जच्या) वेळी प्रक्रिया उलट दिशेने होते आणि इलेक्ट्रिक मोटारला ऊर्जा मिळते.

बॅटरीची क्षमता सांगण्यासाठी Ampere-hour (Ah) आणि विशेषतः मोठ्या ऊर्जा-साठवणूक प्रणालींसाठी Watt-hour (Wh) किंवा kilowatt-hour (kWh) वापरले जातात.

उदाहरणार्थ : ऊर्जा = व्होल्टेज x क्षमता (Ah)

म्हणजेच, Wh = V x Ah

त्यामुळे केवळ बॅटरी ४०० Ah आहे. एवढे सांगून तिची एकूण ऊर्जा समजत नाही. तिचे व्होल्टेजही सांगणे आवश्यक आहे.

इलेक्ट्रिक कारमध्ये त्यामुळे बॅटरीची क्षमता अनेकदा kWhमध्ये सांगितली जाते. जास्त kWh म्हणजे साधारणपणे अधिक ऊर्जा साठवण्याची क्षमता; मात्र वाहनाची रेंज केवळ बॅटरीच्या आकारावर अवलंबून नसते. मोटारची कार्यक्षमता, वाहनाचे वजन, टायरचा प्रतिकार, वायुगतिकी, तापमान, वेग आणि ड्रायव्हिंग पद्धत यांचाही परिणाम होतो.

बॅटरी समजून घेण्यासाठी ऊर्जा (Energy) आणि शक्ती (Power) यातील फरक महत्त्वाचा आहे. Energy म्हणजे बॅटरीमध्ये एकूण किती ऊर्जा उपलब्ध आहे, तर Power म्हणजे ती ऊर्जा किती वेगाने उपलब्ध करून देता येते.

मोठी ऊर्जा क्षमता असलेली बॅटरी आवश्यक तो मोठा विद्युतप्रवाह क्षणार्धात देईल असे नाही. वाहनाचा वेग वाढवताना मोठी शक्ती आवश्यक असते. त्यामुळे इलेक्ट्रिक वाहनाच्या बॅटरीची रचना करताना ऊर्जा-घनता आणि शक्ती-घनता या दोन्हींचा विचार करावा लागतो. आधुनिक इलेक्ट्रिक कारमधील अत्यंत महत्त्वाचा भाग म्हणजे Battery Management System (BMS). शेकडो किंवा हजारो सेल असलेल्या पॅकमध्ये प्रत्येक सेल समान स्थितीत असेलच असे नाही. त्यामुळे इलेक्ट्रॉनिक नियंत्रण प्रणालीद्वारे त्यांचे निरीक्षण करणे आवश्यक असते.

BMS पुढील बाबींवर लक्ष ठेवते :

प्रत्येक सेलचे व्होल्टेज, बॅटरीचे तापमान, चार्जिंगची स्थिती, डिस्चार्जची स्थिती, विद्युतप्रवाह, सेलमधील असमतोल, संभाव्य ओव्हरचार्ज किंवा ओव्हरडिस्चार्ज, सुरक्षित कार्यक्षेत्र. सेलमध्ये जास्त तापमान किंवा अनियंत्रित स्थिती निर्माण झाल्यास बॅटरीच्या कार्यक्षमतेवर आणि सुरक्षिततेवर परिणाम होऊ शकतो. बॅटरी चार्ज होताना आणि डिस्चार्ज होताना काही प्रमाणात उष्णता निर्माण होते. उच्च शक्तीच्या इलेक्ट्रिक वाहनांमध्ये ही उष्णता योग्य पद्धतीने बाहेर काढणे आवश्यक असते. यासाठी काही वाहनांमध्ये द्रव-आधारित शीतलीकरण यंत्रणा (cooling system) वापरले जाते. तापमान योग्य मर्यादेत ठेवणे महत्त्वाचे असते कारण तापमानाचा परिणाम बॅटरीची कार्यक्षमता, आयुष्य आणि सुरक्षितता यावर होतो. अशा प्रकारे आधुनिक बॅटरी तंत्रज्ञान हे केवळ रसायनशास्त्र नसून रसायनशास्त्र + इलेक्ट्रॉनिक्स + उष्मागतिकी + पदार्थविज्ञान + यांत्रिक अभियांत्रिकी + संगणक नियंत्रण यांचे एकत्रित रूप आहे.



चार चाकी वाहनातील विविध बॅटऱ्या

बॅटरी चार्जिंगचे विज्ञान

इलेक्ट्रिक वाहनाची बॅटरी चार्ज करण्यासाठी विद्युतऊर्जा बाहेरून बॅटरीला दिली जाते. चार्जर आणि वाहनातील नियंत्रण प्रणाली यामध्ये समन्वय असतो. चार्जिंगची गती अनेक घटकांवर अवलंबून असते - चार्जरची क्षमता, वाहनाच्या बॅटरीची क्षमता, बॅटरीचे तापमान, बॅटरीची सध्याची चार्ज स्थिती, बॅटरीची रासायनिक रचना, वाहनाची चार्जिंग प्रणाली, जलद चार्जिंगमध्ये कमी वेळेत मोठी ऊर्जा बॅटरीमध्ये पाठवली जाते. त्यामुळे उष्णता आणि रासायनिक ताण वाढू शकतो. म्हणून जलद चार्जिंगसाठी अत्यंत अचूक नियंत्रण आवश्यक आहे.

बॅटरीच्या तंत्रज्ञानातील पदार्थविज्ञान

बॅटरीची क्षमता वाढवण्यासाठी वैज्ञानिक नवीन पदार्थ शोधत आहेत. इलेक्ट्रोडमध्ये कोणता पदार्थ वापरला जातो, त्याची सूक्ष्म रचना कशी आहे, आयन किती वेगाने त्यामध्ये प्रवेश करतात आणि बाहेर पडतात, यावर बॅटरीचे कार्य अवलंबून असते. लिथियम-आयन बॅटरीमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रोड पदार्थांमध्ये चार्जिंग आणि डिस्चार्जिंगच्या दरम्यान आयनांची हालचाल होते. इलेक्ट्रोडच्या पृष्ठभागावर आणि आत होणाऱ्या सूक्ष्म रासायनिक प्रक्रियांचा बॅटरीच्या आयुष्यावर परिणाम होतो. संशोधनामध्ये इलेक्ट्रोडच्या पृष्ठभागावर तयार होणाऱ्या थरांचाही अभ्यास केला जातो. यामुळे आजची बॅटरी म्हणजे साधी रासायनिक बाटली नसून नॅनोमीटर ते मीटर अशा अनेक स्तरांवर डिझाइन केलेली अत्यंत जटिल ऊर्जाप्रणाली आहे. बॅटरी कायमस्वरूपी एकसारखी कार्य करत नाही. तिची उच्च विद्युतप्रवाह देण्याची क्षमतादेखील बदलू शकते. त्यामुळे आधुनिक इलेक्ट्रिक वाहनांच्या डिझाइनमध्ये केवळ सुरुवातीची क्षमता महत्त्वाची नसून अनेक, अतितापमान, अतिचार्जिंग किंवा इतर बिघाड झाल्यास अनावश्यक उष्णता निर्माण होऊ शकते. म्हणून इलेक्ट्रिक वाहनांमध्ये संरक्षणात्मक इलेक्ट्रोड नाही. वारंवार चार्ज-डिस्चार्ज, उच्च तापमान, अतिशय जलद चार्जिंग, दीर्घकाळ पूर्ण चार्ज किंवा पूर्ण डिस्चार्ज स्थितीत राहणे इत्यादी कारणांमुळे तिची कार्यक्षमता हळूहळू कमी होऊ शकते. याला बॅटरीचा ऱ्हास (Battery Degradation) म्हणतात. कालांतराने बॅटरीची उपलब्ध ऊर्जा कमी होऊ शकते आणि उच्च विद्युतप्रवाह देण्याची क्षमतादेखील बदलू शकते. त्यामुळे आधुनिक

इलेक्ट्रिक वाहनांच्या डिझाइनमध्ये केवळ सुरुवातीची क्षमता महत्त्वाची नसून अनेक वर्षांनंतर बॅटरी किती चांगली काम करेल हेही महत्त्वाचे आहे.

बॅटरीमध्ये रासायनिक ऊर्जा मोठ्या प्रमाणावर साठवलेली असते. त्यामुळे सुरक्षा हा आधुनिक बॅटरीच्या तंत्रज्ञानाचा अत्यंत महत्त्वाचा भाग आहे. सेलमध्ये अंतर्गत शॉर्ट-सर्किट, यांत्रिक नुकसान, अतितापमान, अतिचार्जिंग किंवा इतर बिघाड झाल्यास अनावश्यक उष्णता निर्माण होऊ शकते. म्हणून इलेक्ट्रिक वाहनांमध्ये संरक्षणात्मक इलेक्ट्रॉनिक्स, तापमान नियंत्रण, फ्युज, संपर्कक आणि सॉफ्टवेअर-आधारित नियंत्रण अशा अनेक स्तरांची सुरक्षा वापरली जाते. बॅटरीचे सुरक्षित डिझाइन हे एका घटकावर अवलंबून नसते; सेलची रसायनशास्त्रीय निवड, पॅकची रचना, तापमान नियंत्रण आणि वाहनाचे नियंत्रण सॉफ्टवेअर या सर्वांचा एकत्रित परिणाम असतो.

पारंपरिक कारमध्ये पेट्रोल किंवा डिझेलमधील रासायनिक ऊर्जा प्रथम इंजिनमध्ये उष्णतेत आणि नंतर यांत्रिक ऊर्जेत रूपांतरित होते. बॅटरीचे काम प्रामुख्याने इंजिन सुरू करणे आणि विद्युत उपकरणांना ऊर्जा देणे असते. इलेक्ट्रिक कारमध्ये मात्र विद्युतऊर्जा थेट इलेक्ट्रिक मोटारच्या प्रणालीला दिली जाते. बॅटरीतील रासायनिक ऊर्जा विद्युतऊर्जेत रूपांतरित होते, पॉवर इलेक्ट्रॉनिक्स तिचे नियंत्रण करतात आणि मोटार विद्युतऊर्जेचे यांत्रिक ऊर्जेत रूपांतर करते. यामुळे आधुनिक इलेक्ट्रिक वाहनात बॅटरी ही केवळ साहाय्यक वस्तू नसून वाहनाच्या संपूर्ण propulsion system मधील मध्यवर्ती घटक बनते.

भविष्यातील बॅटरी तंत्रज्ञान

बॅटरीच्या क्षेत्रात संशोधन सातत्याने सुरू आहे. अधिक ऊर्जा, कमी वजन, जलद चार्जिंग, जास्त आयुष्य, कमी खर्च आणि अधिक सुरक्षितता हे प्रमुख उद्दिष्टे आहेत. लिथियम-आयन तंत्रज्ञानाबरोबरच solid-state batteries, नवीन इलेक्ट्रोड पदार्थ, sodium-ion batteries आणि इतर पुढील पिढीच्या तंत्रज्ञानावर संशोधन सुरू आहे. DOE नुसार solid-state आणि flow battery यांसारख्या पुढील पिढीच्या तंत्रज्ञानांचा कार्यक्षमता, आयुष्य, सुरक्षितता आणि खर्च यांसाठी अभ्यास केला जात आहे. विशेषतः solid-state batteryमध्ये पारंपरिक द्रव इलेक्ट्रोलाइटऐवजी घन इलेक्ट्रोलाइट वापरण्याची संकल्पना आहे. यामुळे काही सुरक्षितता आणि ऊर्जा-घनतेशी संबंधित फायदे मिळू शकतात; मात्र मोठ्या प्रमाणावर उत्पादन, खर्च, दीर्घकालीन स्थिरता आणि इतर अभियांत्रिकी आव्हाने अद्याप महत्त्वाची आहेत.

इलेक्ट्रिक वाहनांची संख्या वाढत असताना वापरलेल्या बॅटऱ्यांचे व्यवस्थापन महत्त्वाचे ठरणार आहे. बॅटरीमध्ये लिथियम, निकेल, कोबाल्ट, मँगनीज, तांबे, ग्रॅफाइट आणि इतर पदार्थ असू शकतात. त्यांपैकी काही पदार्थ पुन्हा मिळवून नवीन बॅटरी तयार करण्यासाठी वापरता येतात. त्यामुळे भविष्यातील बॅटरी तंत्रज्ञान केवळ जास्त ऊर्जा साठवणे यापुरते मर्यादित राहणार नाही.

बॅटरीचा प्रवास हा केवळ एका उपकरणाच्या विकासाचा इतिहास नाही. तो रसायनशास्त्र, भौतिकशास्त्र, पदार्थविज्ञान, इलेक्ट्रॉनिक्स, संगणकशास्त्र, यांत्रिक अभियांत्रिकी आणि पर्यावरणविज्ञान यांच्या एकत्रित प्रगतीचा इतिहास आहे.

बॅटरी सेलमध्ये निर्माण होणारे संभाव्य दोष

बॅटरी सेल हा रासायनिक ऊर्जेचे विद्युतऊर्जेत रूपांतर करणारा महत्त्वाचा विद्युत-रासायनिक घटक आहे. विविध साधनात विविध प्रकारच्या बॅटऱ्या वापरल्या जातात. बॅटरीची कार्यक्षमता, आयुष्य आणि सुरक्षितता ही सेलच्या अंतर्गत रचना, रासायनिक पदार्थ, उत्पादन प्रक्रिया, वापरण्याची पद्धत आणि तापमान यांवर अवलंबून असते. या घटकांमध्ये बिघाड झाल्यास सेलमध्ये विविध दोष निर्माण होऊ शकतात.

बॅटरी सेलमधील धन आणि ऋण इलेक्ट्रोड थेट किंवा अनपेक्षितपणे संपर्कात आल्यास अंतर्गत शॉर्ट-सर्किट होऊ शकते. यामुळे मोठा विद्युतप्रवाह निर्माण होऊन सेलचे तापमान वाढू शकते. लिथियम-आयन सेलमध्ये हा दोष विशेषतः गंभीर ठरू शकतो. विभाजकाला नुकसान झाल्यासही अशी समस्या निर्माण होण्याची शक्यता वाढते.

सेलच्या निर्धारित मर्यादेपेक्षा जास्त चार्ज केल्यास त्याला ओव्हर चार्जिंग म्हणतात. यामुळे इलेक्ट्रोडमध्ये अवांछित रासायनिक प्रक्रिया होऊ शकतात आणि उष्णता वाढू शकते. काही परिस्थितींमध्ये सेलमध्ये गॅस निर्माण होऊन त्याचा आकार फुगू शकतो. आधुनिक बॅटरीमध्ये चार्जिंग नियंत्रणप्रणालीचा उपयोग ओव्हर चार्जिंग टाळण्यासाठी केला जातो.

बॅटरीमध्ये चार्जिंग किंवा डिस्चार्जिंगच्या वेळी काही प्रमाणात उष्णता निर्माण होते. मात्र तापमान अत्याधिक वाढल्यास रासायनिक अभिक्रियांचा वेग वाढू शकतो आणि सेलची कार्यक्षमता कमी होऊ शकते. सतत उच्च तापमानात वापरल्यास बॅटरीचे आयुष्य कमी होण्याची शक्यता असते.

सेलला त्याच्या सुरक्षित किमान व्होल्टेजपेक्षा खाली

डिस्चार्ज केल्यास ओव्हर डिस्चार्ज होतो. यामुळे इलेक्ट्रोडच्या रासायनिक रचनेत बदल होऊ शकतात आणि सेलची क्षमता कायमची कमी होऊ शकते. काही बॅटरी प्रणालींमध्ये संरक्षण सर्किट अशा परिस्थितीत सेलला वेगळे करते.

बॅटरी वारंवार चार्ज आणि डिस्चार्ज केल्यामुळे कालांतराने तिची ऊर्जा साठवण्याची क्षमता कमी होऊ शकते. उच्च तापमान, जास्त चार्जिंग-डिस्चार्जिंग दर आणि दीर्घकाळ वापर यामुळे ही प्रक्रिया वेगाने होऊ शकते.

काही प्रकारच्या बॅटऱ्यांमध्ये इलेक्ट्रोलाइट द्रव किंवा जेलच्या स्वरूपात असतो. सेलचे आवरण खराब झाल्यास इलेक्ट्रोलाइटची गळती होऊ शकते. यामुळे सेलची कार्यक्षमता कमी होण्याबरोबरच आसपासच्या घटकांवरही परिणाम होऊ शकतो.

काही लिथियम-आयन बॅटरीमध्ये अंतर्गत रासायनिक प्रक्रियांमुळे गॅस तयार झाल्यास सेल किंवा बॅटरी पॅक फुगू शकतो. फुगलेली बॅटरी वापरत राहणे धोकादायक ठरू शकते. अशा वेळी बॅटरीला छेदणे, दाबणे किंवा स्वतःहून उघडणे टाळून योग्य तांत्रिक सेवा घ्यावी.

अपघात, धक्का, दाब, छिद्र पडणे किंवा चुकीची हाताळणी यामुळे सेलच्या अंतर्गत घटकांचे नुकसान होऊ शकते. इलेक्ट्रिक वाहनांमध्ये बॅटरी पॅकचे यांत्रिक संरक्षण त्यामुळे अत्यंत महत्त्वाचे असते.

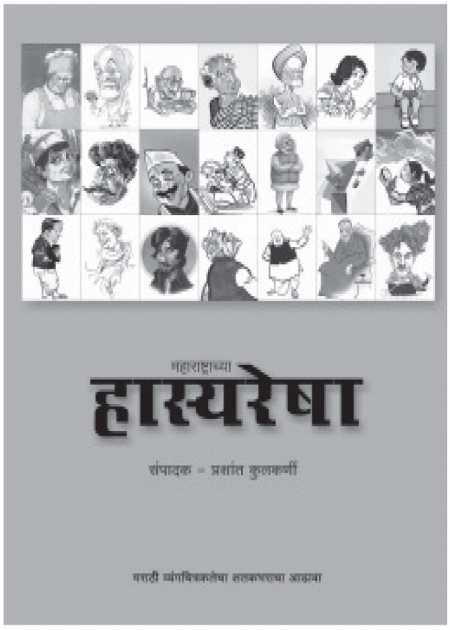
अनेक सेल एकत्र जोडून तयार केलेल्या बॅटरी पॅकमध्ये प्रत्येक सेलची क्षमता आणि व्होल्टेज समान राहणे आवश्यक असते. एखादा सेल इतरांपेक्षा वेगळ्या स्थितीत गेल्यास असंतुलन निर्माण होते. त्यामुळे संपूर्ण पॅकची उपलब्ध क्षमता आणि कार्यक्षमता कमी होऊ शकते.

बॅटरी सेलमध्ये निर्माण होणारे दोष हे उत्पादनातील त्रुटी, चुकीचे चार्जिंग, अतिउष्णता, यांत्रिक नुकसान, दीर्घकालीन वापर किंवा अयोग्य देखभाल यांमुळे उद्‌भवू शकतात. त्यामुळे योग्य चार्जरचा वापर, तापमानाचे नियंत्रण, सुरक्षित हाताळणी, संरक्षणप्रणालींचा वापर महत्त्वाचा आहे. विशेषतः लिथियम-आयन बॅटरीमध्ये फुगणे, जास्त तापणे किंवा भौतिक नुकसान दिसल्यास ती वापरणे थांबवून प्रशिक्षित तंत्रज्ञांचा सल्ला घेणे सुरक्षित ठरते. अशा प्रकारे योग्य तंत्रज्ञान आणि सुरक्षित वापराच्या पद्धतींच्या साहाय्याने बॅटरीचे कार्यक्षम आयुष्य वाढवता येते आणि संभाव्य धोके कमी करता येतात.

(सर्व आकृत्या माहितीजालावरून साभार)

– डॉ. जयंत वसंत जोशी
jvjoshi2002@yahoo.com

ग्रंथाली



महाराष्ट्राच्या
हास्यरेषा

संपादक : प्रशांत कुलकर्णी

मराठी व्यंगचित्रकलेचा शतकभराचा आढावा

मूल्य १५०० रु. । सवलतीत १००० रु.

टपालखर्च १०० रु.

सामाजिक-राजकीय घटनांवर मार्मिक भाष्य करणारी व्यंगचित्रे महाराष्ट्राच्या संस्कृतीचा अविभाज्य भाग आहेत. मराठी माणसाला समृद्ध करणाऱ्या व्यंगचित्रकलेचा आणि तो रेखाटणाऱ्या व्यंगचित्रकारांचा हा शतकभराचा आढावा आहे. मराठीमध्ये व्यंगचित्रकलेचा व्यवहार १८८० पासून सुरू झाला. शं.वा. किर्लोस्कर हे गेल्या शतकातील आद्य व्यंगचित्रकार. त्यांच्यापासून ते आजचा तरुण व्यंगचित्रकार असा मोठा कालखंड या ग्रंथात सामावलेला आहे. सामाजिक हास्यचित्रे, पॉकेट कार्टून, कॉमिक स्ट्रिप, अर्कचित्रे, इलस्ट्रेशन, राजकीय व्यंगचित्रे असा सर्वांगाने वेध या ग्रंथात घेतला आहे. अशा प्रकारचा ग्रंथ इतर भारतीय भाषांमध्ये नाही. मराठी व्यंगचित्रकलेचे हे एक डॉक्युमेंटेशन तर आहेच, त्याचबरोबर त्याचे सर्वांगसुंदर दर्शन घडवणारा हा एक अपूर्व ग्रंथ आहे.



भारतातील सौरऊर्जा प्रकल्पाचा पूर्वइतिहास

डॉ. किशोर कुलकर्णी

सौरऊर्जेच्या इतिहासात, 'विल्यम ॲडम्स' हे नाव प्रामुख्याने विल्यम ग्रिल्स ॲडम्स या ब्रिटिश भौतिकशास्त्रज्ञासाठी वापरले जाते. त्यांनी त्यांचे विद्यार्थी रिचर्ड इव्हान्स डे यांच्यासोबत १८७६ मध्ये शोध लावला की, घन सेलेनियमवर प्रकाश टाकल्यास विद्युतप्रवाह निर्माण होतो. या महत्त्वपूर्ण शोधाने हे सिद्ध केले की प्रकाशाचे थेट विजेमध्ये रूपांतर केले जाऊ शकते. सेलेनियम प्रकाशवाहक (photoconductive) आहे या पूर्वीच्या शोधावर आधारित, ॲडम्स आणि डे यांनी प्लॅटिनम-सेलेनियम जोडण्यावर प्रकाश पडल्यावर काय होते याची चाचणी केली. त्यांनी पाहिले की प्रकाशाने द्रव इलेक्ट्रोलाइट किंवा ज्वलनाची आवश्यकता न भासता, पूर्णपणे स्वतःहून विद्युतप्रभार निर्माण केला जातो. ॲडम्स यांनी नोंदवले की निर्माण झालेल्या विजेची तीव्रता प्रकाशस्रोताच्या शक्तीनुसार बदलते, आणि इथेच आधुनिक फोटोव्होल्टेइक सौर घटकासाठी (solar cells) मूलभूत प्रायोगिक पाया घातला गेला. त्याही सहा वर्षे आधी विल्यम ॲडम्स नावाच्या एका समकालीन वसाहतवादी नोकरशहा आणि अभियंत्याने १८७०च्या दशकात भारतात व्यावहारिक सौर बॉयलर आणि आरशांच्या रचना तयार केल्या. पाणी उकळण्यासाठी आणि सौरऊर्जेवर चालणाऱ्या वाफेच्या इंजिनांची चाचणी घेण्यासाठी त्यांनी अनेक आरशांच्या रचना आणि मोठ्या अंतर्वक्र डिशेसचा वापर केला, पण दुर्दैव असे की वसाहतवादी अधिकाऱ्यांनी आयात केलेल्या ब्रिटिश कोळशाच्या बाजूने आपले मत मांडले आणि त्यांच्या दूरदृष्टीकडे मोठ्या प्रमाणावर दुर्लक्ष केले. मुंबईतील या प्रशासकीय अधिकाऱ्याचे सौर-ऊर्जेवर आधारित भविष्याचे स्वप्न वसाहतवादी सरकारच्या काळातल्या पुराणमतवादी वृत्तीमुळे धुळीस मिळाले.

फ्रेंच गणितज्ञ ऑगस्टिन मौचोट यांच्या १८६६ मधील सौरऊर्जेवर चालणाऱ्या शोधाबद्दल वाचून विल्यम ॲडम्स प्रेरित झाले होते. विल्यम ॲडम्स यांना एकंदरीतच ऊर्जेच्या क्षेत्राबद्दल प्रचंड आकर्षण होते. तरुणपणी, १८६०च्या



१८६६ मध्ये सूर्याच्या ऊर्जेवर चालणाऱ्या ऑगस्टिन मौचोट यांच्या पहिल्या यंत्राचे चित्रण (कोरीव काम)

दशकात लंडनच्या पेटंट कार्यालयात कारकून म्हणून काम करत असताना त्यांची ही आवड अधिक बहरली. या अनुभवामुळे त्यांना आरसे, पाणी किंवा या दोन्हीचा वापर करून सौरऊर्जा मिळवण्याच्या काही सुरुवातीच्या ब्रिटिश रचनांची (डिझाइनची) माहिती मिळाली. ती त्यांनी भविष्यात वापरता येईल म्हणून संग्रही ठेवली.

फ्रेंच गणितज्ञ ऑगस्टिन मौचोट यांनी सूर्याच्या ऊर्जेवर चालणारे जगातील पहिले यंत्र शोधल्याचे वाचून आपल्याला झालेला आनंद ॲडम्स यांनी नंतरच्या काळात अनेकदा व्यक्त केला होता. सौर बॉयलरला एका विशेष रचनेच्या वाफेच्या इंजिनाशी (स्टीम इंजिन) जोडणाऱ्या या यंत्राचे, १८६६ मध्ये सम्राट नेपोलियन तिसरा यांच्यासमोर सादरीकरण करण्यात आले. तेव्हा त्यांनी त्याचे मनापासून स्वागत केले होते.

या शोधाने प्रेरित होऊन, ॲडम्स यांनी लवकरच स्वतःचा एक प्राथमिक स्वरूपाचा सौर बॉयलर तयार केला आणि त्याचे पेटंटही मिळवले. यात अडचण एकच होती, त्यांना अधिक सूर्यप्रकाशाची गरज होती. मुंबईचे गव्हर्नर सर फिलिप एडमंड वूडहाऊस यांनी ॲडम्स यांना मुंबईचे उप-नोंदणी अधिकारी (डेप्युटी रजिस्ट्रार) होण्याची संधी दिली,

तेव्हा त्यांनी ती संधी लगेचच स्वीकारली. ॲडम्स हे औद्योगिक वापरासाठी योग्य असे पूर्णपणे कार्यरत सौरवाफेचे इंजिन डिझाइन करणारे, त्याची निर्मिती करणारे तसेच त्याची चाचणी घेणारे पहिले ब्रिटिश नागरिक ठरले. परंतु त्यांना भारताच्या वसाहतवादी शासकांच्या पुराणमतवादाचाही सामना करावा लागला, कारण मुंबईतील नोकरशहा निःसंशयपणे ऊर्जाक्षेत्रातील दूरदर्शी व्यक्ती नाहीत हे त्यांना दिसले.

ॲडम्स १८७३मध्ये मुंबईत आले, तेव्हा त्यांना हे शहर कापसाच्या उद्योगात तेजीत असल्याचे आढळले, जिथे शहरभर कापसाच्या गिरण्या होत्या. लोकसंख्या इतक्या झपाट्याने वाढत होती की मैलोन्‌मैल झाडांची कत्तल करून लाकूडफाटा संपत आला होता. सोप्या आणि साध्या शब्दांत सांगायचे तर, इथला परिसर पूर्णपणे बोडका झाला होता.

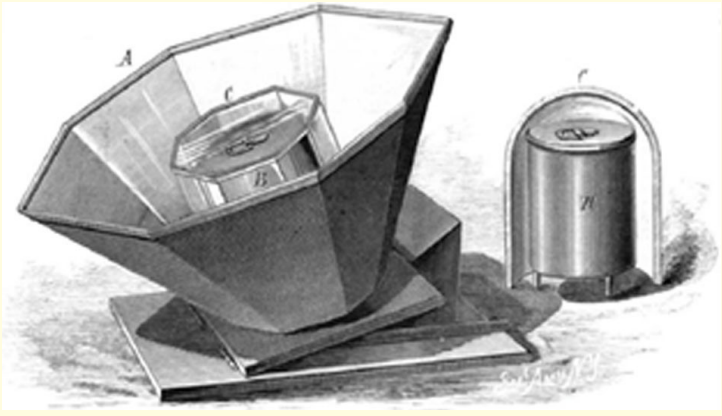
मुंबईच्या मध्यवर्ती किल्ल्याजवळ त्यांना कामासाठी जावे लागे. कामावर जाण्यापूर्वी दररोज सकाळी, ॲडम्स खुल्या समुद्राजवळ, दक्षिणेकडील कुलाबा भागातील आपल्या घरी आपली बाह्य प्रयोगशाळा उभारत असे. त्याने एका भारतीय कुशल सुताराला १८ आरसे ठेवण्यासाठी तीन-स्तरीय लाकडी शेल्फ बनवण्याची सूचना दिली.

'प्रत्येक आरसा बोटाच्या स्पर्शाने' फिरवू शकेल अशी व्यवस्था त्यात असावी असा दृष्टिकोन त्यात होता. त्यानंतर, मोकळ्या जागेत प्रयोग करण्यासाठी ॲडम्सने आरशांचे दोन संच (एकूण ३६ आरसे) वापरले; या प्रयोगात 'थर्मामीटरमधील पारा उकळू लागला आणि ६७० अंश फॅरेनहाइटच्या वर तो झेपावला.' त्यानंतर त्यांनी त्या सर्व ३६ आरशांच्या केंद्रबिंदूवर (फोकसवर) तीन गॅलन पाणी असलेला तांब्याचा दंडगोल (सिलेंडर) ठेवला, त्यामुळे ते पाणी अवघ्या २० मिनिटांत उकळू लागले. ॲडम्सची महत्त्वाकांक्षा तिथेच थांबली नाही. वाफेचे इंजिन चालवण्यासाठी बॉयलरमध्ये पुरेसा दाब निर्माण करण्याच्या उद्देशाने, या प्रशासकीय अधिकारी-सह-अभियंत्याने २४ फूट व्यास असलेला एक प्रचंड अंतर्वक्र (concave) आरसा तयार केला. त्यानंतर त्यांनी लंडनहून आपला 'सोलार बॉयलर' मागवला, जो १८७६ मध्ये जहाजाद्वारे मुंबईत पोहोचला.

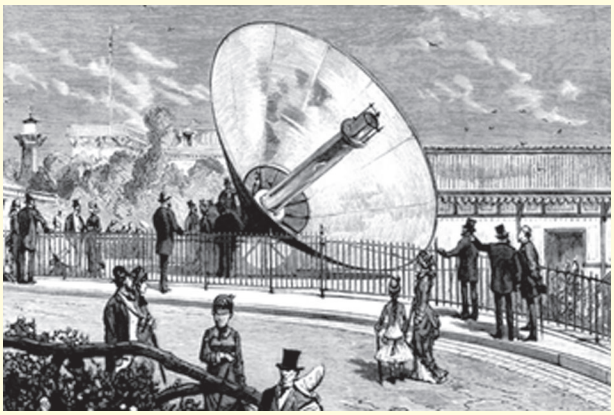
एका सकाळी, आपल्या डोळ्यांच्या सुरक्षेसाठी गॉगल घालून ॲडम्सने आपला तो प्रचंड अंतर्वक्र आरसा पाण्याने भरलेल्या तांब्याच्या दंडगोलाकडे वळवला.

तळपत्या सूर्याच्या प्रकाशाचे अखंड आणि निरंतर किरण आदळत होते, एका तासानंतर, त्या दंडगोलामध्ये प्रती चौरस इंच ५५ पाउंड इतका दाब निर्माण झाला होता. त्यांनी ३ हॉर्सपॉवरचे वाफेचे इंजिन भाड्याने घेतले आणि ते बॉयलरला जोडले, त्या दाबामुळे इंजिनचे पिस्टन हालचाल करू लागले. अशा प्रकारे, ॲडम्सने ब्रिटिश बनावटीचे पहिले कार्यक्षम सौरवाफेचे इंजिन (solar steam engine) तयार केले होते. दोन आठवडे त्यांनी कुलाबा येथील त्यांच्या बंगल्याजवळ तो पंप चालू ठेवला. सरकारी अधिकारी, वर्तमानपत्रांचे प्रतिनिधी, गिरणी मालक आणि स्थानिक भारतीय समुदायांसमोर आपला हा शोध अभिमानाने त्यांनी सादर केला. तेवढ्याने भागले नाही म्हणून की काय मुंबईतील एका वर्तमानपत्रात जाहीर सूचना देऊन सामान्य जनतेलाही त्यांचे प्रयोग पाहण्यासाठी आमंत्रित करण्यात आले होते.

१८७७ मध्ये, ॲडम्स यांनी 'टाइम्स ऑफ इंडिया'च्या संपादकांना एक पत्र लिहिले. त्यात त्यांनी असा युक्तिवाद



विल्यम ॲडम्स
विल्यम ॲडम्स यांनी तयार केलेल्या पोर्टेबल (सहज वाहून नेता येण्याजोग्या) सौर पाक-स्टोव्हच्या आराखड्याचे रेखाचित्र



केला की, त्यांच्या सौरवाफेच्या इंजिनाचा वापर केल्यास भारत हा जगातील प्रमुख उत्पादन उद्योगांचे केंद्र बनेल. त्यानंतर, 'सोलार हीट : अ सबस्टिट्यूट फॉर फ्युएल इन ट्रॉपिकल कंट्रीज', १८७८ या त्यांच्या काळाच्या खूप पुढे असलेल्या ग्रंथामध्ये ॲडम्स यांनी असा युक्तिवाद केला, की विषुववृत्ताजवळील देशांकडे त्यांच्या स्वच्छ आकाशाच्या रूपात संपत्तीचा एक मोफत आणि अक्षय स्रोत उपलब्ध आहे; हा स्रोत पाश्चात्त्य राष्ट्रांना प्रचंड कष्ट आणि मेहनतीने पृथ्वीच्या उदरातून खणून काढाव्या लागणाऱ्या संपत्तीइतकाच तो मौल्यवान आहे.

ॲडम्स यांनी कापूस ओढण्याच्या यंत्रांपासून (cottongins – कापसाच्या बियांपासून धागे वेगळी करणारी यंत्रे) ते हिंदू स्मशानभूमींपर्यंत सर्व ठिकाणी सौर उष्णतेचा वापर करण्याच्या योजना आखल्या होत्या. त्यांनी वसाहतवादी ब्रिटिश सरकारला कोळशाऐवजी या आशादायक पर्यायात गुंतवणूक करण्याचे आवाहन केले; कारण त्या वेळी भारतात कोळसा खूप मोठा खर्च करून आयात केला जात असे.

सौरऊर्जेमुळे ब्रिटिश राजवटीत आमूलाग्र बदल घडतील, अशी ॲडम्स यांची कल्पना होती. इंग्लंडमध्ये ज्याप्रमाणे कोळशावर चालणाऱ्या वाफेच्या इंजिनाने पाणचक्कीची (waterwheel) जागा घेतली होती, त्याचप्रमाणे भारतातही आता जीवाश्मइंधनांची जागा सौरऊर्जा घेऊ शकेल, असा युक्तिवाद त्यांनी केला. परंतु त्यांचे वसाहतवादी वरिष्ठ अधिकारी या गोष्टीने प्रभावित झाले नाहीत.

कारण हे संशोधन 'अतिशय क्रांतिकारी' होते आणि 'प्रस्थापित व्यवस्थेला आव्हान देणारे' होते. ही ॲडम्स हे सौरवाफेच्या इंजिनांवरील जागतिक संशोधनाच्या १९व्या शतकातील एका लाटेचा भाग होते. परंतु फ्रेंच संशोधक मौचोट (Mouchot) यांच्यासारख्या इतर अग्रगण्य संशोधकांच्या विरुद्ध ॲडम्स यांनी त्यांचे सौरवाफेचे इंजिन वसाहतवादी सरकारला फायदा करून देण्यासाठी नाही, तर स्थानिक भारतीय उद्योगांना चालना देण्यासाठी तयार केले होते. स्थानिक लोकांचाही या तंत्रज्ञानावर ॲडम्स यांच्यासारखाच विश्वास होता. एका व्यक्तीने तर 'सायंटिफिक अमेरिकन' या नियतकालिकाला पत्र लिहून सौरऊर्जेचा जलद स्वीकार करण्याची इच्छा व्यक्त केली होती. पत्रात पुढील मजकूर होता,

'माझे वास्तव्य भारतातील उष्णकटिबंधीय भागात आहे... जिथे इंधन दुर्मिळ आणि महाग आहे... देशाच्या या भागात म्हणजे मुंबईपासून उत्तरेकडे सुमारे ३०० मैलांवर, लहान औद्योगिक घटक आणि आस्थापनासाठी स्वस्त ऊर्जेची मोठी गरज आणि संधी आहे.'

मात्र, मुंबईचे तत्कालीन गव्हर्नर सर रिचर्ड टेम्पल यांनी असा निष्कर्ष काढला, की सौरऊर्जेचा वापर मोठ्या प्रमाणावर व्यावसायिक कारणांसाठी केला जाऊ शकत नाही. हे सांगताना त्यांनी असा युक्तिवाद केला, की स्थानिक कारखानदारांना ज्या दिवशी आकाश निरभ्र नसेल त्या दिवशी कामगारांना सुट्टी देणे आवडणार व परवडणार नाही. खरे तर, ॲडम्स यांचा शोध ब्रिटनच्या वसाहतवादी अधिकाऱ्यांसाठी आणि भांडवलदारांसाठी खूपच क्रांतिकारी किंवा प्रस्थापित व्यवस्थेला आव्हान देणारा होता. कमी सूर्यप्रकाश असलेल्या प्रदेशांत, निसर्गाच्या ऋतुचक्रावर अवलंबून असलेली अखंड सौर ऊर्जा, औद्योगिक उत्पादनाच्या त्यांच्या व्यावसायिक महत्त्वाकांक्षेला बाधा आणू शकली असती. शिवाय, त्यांना भारत हा ब्रिटिश कोळशाच्या निर्यातीसाठी एक महत्त्वाची बाजारपेठ म्हणूनही दिसत होता. अशा वेळी सरकार आपलाच फायदा पाहील, सामान्य नागरिकाकडे पाहण्याची त्यांना आवश्यकताच काय असा दृष्टिकोन सरकारचा होता. खरे तर काही गिरणी मालकांनी त्यांच्या वाफेच्या इंजिनांसाठी ॲडम्स यांचे पूरक सौर हीटर (ऑक्झिलरी सोलार हिटर) स्वीकारले असले, तरी बहुतेकांनी त्याकडे आधुनिक संस्कृतीच्या गरजा पूर्ण करण्यास असमर्थ असे एक प्राथमिक किंवा जुनाट उपकरण म्हणून अवहेलना केली.

औद्योगिक भांडवलदार किंवा वसाहतवादी सरकार यांपैकी कोणीही आपल्या संकल्पनेला पाठिंबा दिला नाही, देत नाही, यामुळे वाढत्या नैराश्यामुळे ॲडम्स यांनी पुढील प्रयोग करणे सोडून दिले. भारताने कोळशाकडून सौरऊर्जेकडे आणि जिवाश्मइंधनावर आधारित प्रक्रियेकडून सौरऊर्जा एकवटण्याच्या तंत्राकडे वळावे, हे त्यांचे स्वप्न पूर्ण होण्यासाठी किमान आणखी एक शतक जावे लागले. मात्र,





भारत आता सौर ऊर्जेची निर्मिती करणारा जगातील तिसरा सर्वात मोठा देश आहे.
(छायाचित्र: सार्वजनिक पुरालेख/विकिपीडिया कॉमन्स.

आज भारत जागतिक ऊर्जापरिवर्तनाच्या क्षेत्रात अग्रेसर आहे. तो आता 'आंतरराष्ट्रीय सौरआघाडी'चे (International Solar Alliance) नेतृत्व करत आहे आणि सौरऊर्जानिर्मितीमध्ये जगात तिसऱ्या क्रमांकावर आहे. भारताने २०३० पर्यंत ५०० गिगावॉट (GW) इतकी 'बिगर-जीवाश्म इंधन' (non-fossil fuel) ऊर्जाक्षमता निर्माण करण्याचे उद्दिष्ट ठेवले आहे आणि सौरऊर्जा हे या उद्दिष्टाचे मुख्य चालक आहे. प्रमुख सौरऊर्जा उपक्रम – पीएम सूर्य घर योजना : १ कोटी घरांवर सौर ऊर्जा यंत्रणा बसवण्यास मदत करणारी राष्ट्रीय 'रूफटॉप सोलर' योजना. प्रधानमंत्री सूर्य सरोवर योजना (PM-SSY) : ऊर्जा साठवणूक सुविधेसह ५,००० मेगावॅट (MW) क्षमतेचे तरंगते सौर प्रकल्प (floating solar projects) उभारण्यासाठी जुलै २०२६ मध्ये मंजूर झालेला उपक्रम. ग्रीन एनर्जी कॉरिडॉर : मोठ्या प्रमाणावरील सौर आणि पवन ऊर्जा राष्ट्रीय ग्रीडमध्ये जोडण्यासाठी करण्यासाठी (समाकलित) तयार केलेले पायाभूत सुविधा प्रकल्प. तुम्हाला इ.स.२०३० पर्यंत म्हणजे पुढील चार वर्षात सौर ऊर्जा २८० गिगावॉटपर्यंत उत्पादित केली जाईल अशी शक्यता आहे.

भारत सरकारने ३१ जुलै २०२६ रोजी 'प्रधानमंत्री सूर्य सरोवर योजना' (PM-SSY) मंजूर केली. या योजनेचे उद्दिष्ट ५,००० मेगावॉट क्षमतेच्या 'फ्लोटिंग सोलर फोटोव्होल्टेइक' (FSPV) प्रकल्पांना, त्यासोबतच 'ऊर्जासाठवणप्रणाली' (ESS) बसवून पाठिंबा देणे हे आहे. किमान दोन तासांची साठवणक्षमता (१०,००० MWh) असलेल्या या ऊर्जासाठवणप्रणालीमुळे राज्यांना विजेची सर्वाधिक मागणी (पीक डिमांड) व्यवस्थापित करण्यास मदत होईल. विद्यमान जलाशय आणि औद्योगिक तलावांचा वापर करून, ही योजना जमिनीच्या दुर्मिळ संसाधनांवरील ताण कमी करेल. तसेच, एकात्मिक ऊर्जा साठवणुकीद्वारे ती ग्रीडची विश्वासार्हता वाढवेल. ५,०७० कोटी रुपयांच्या तरतुदीसह ही योजना आर्थिक वर्ष २०२६-२७ ते २०३०-३१ या कालावधीत राबवली जाईल.

ही योजना 'नॅशनल इन्स्टिट्यूट ऑफ सोलार एनर्जी'च्या (NISE) मूल्यांकनावर आधारित आहे. या मूल्यांकनानुसार, भारतातील जलाशय आणि योग्य अशा अंतर्गत जलस्रोतांमध्ये सुमारे १०२.१८ GWp (गिगावॉट-पीक) इतकी फ्लोटिंग सोलर क्षमता असल्याचे अनुमान आहे. या योजनेमुळे दरवर्षी सुमारे १० दशलक्ष टन CO_2 (कार्बन डायऑक्साइड) उत्सर्जन कमी होण्याची अपेक्षा आहे. यामुळे १६,००० ते १७,००० पूर्ण-वेळ रोजगाराच्या संधी निर्माण होतील. तसेच, फ्लोटेशन सिस्टिम, PV सेल, मॉड्युल आणि ऊर्जासाठवणप्रणालींच्या देशांतर्गत उत्पादनालाही यामुळे चालना मिळेल. सर्व राज्ये आणि केंद्रशासित प्रदेश या योजनेचा लाभ घेण्यास पात्र असतील. या उपक्रमामुळे भारताची फ्लोटिंग सोलार क्षमता सध्याच्या सुमारे ७०० मेगावॉटवरून ५,००० मेगावॉटने वाढेल.

खरोखरच त्या काळी भारतावर राज्य करणाऱ्या वसाहतवादी सत्ताधीशांनी ॲडम्सच्या १९व्या शतकातील सौरऊर्जेविषयक प्रयोगांचा स्वीकार केला असता, तर हे तंत्रज्ञान आज किती प्रगत झाले असते याची कल्पनाच खूप सुखावह वाटते. एवढेच नाही तर वनांची नासाडी व वृक्षतोड फार कमी झाली असती. सुजलाम् सुफलाम् भारताचे चित्र कदाचित कायम राहिले असते. पण, ते होणे नाही अशीच आंग्ल सरकारने व्यवस्था केली होती.

– डॉ. किशोर कुलकर्णी
krk_1949@yahoo.com



औषधी वनस्पती रसायनशास्त्र संशोधक असीमा चटर्जी

नरेंद्र गोळे

औषधी वनस्पतींच्या रसायनशास्त्रात असीमा चटर्जी यांनी पथदर्शी कार्य केलेले आहे. त्यांनी आयुर्वेदिक ज्ञान व आधुनिक शास्त्रीय पद्धती यांचा संयोग घडवला आहे. असीमांनी जैवसक्रिय संयुगांचे पृथःक्करण आणि स्वभावांकन यांबाबत मोलाचे काम केले आहे. त्या उत्कृष्ट मार्गदर्शक आणि अलौकिक संस्थानिर्मात्या होत्या. नेमकेपणा आणि शिस्तबद्ध विचारांचा वारसा पुढे नेणाऱ्या संशोधकांच्या एका पिढीस त्यांनी घडवलेले आहे. पारंपरिक वनस्पतीज औषधे हा भारतीय पारंपरिक ज्ञानप्रणालीचा एक महत्त्वाचा भाग आहे. भारतीय औषधी वनस्पतींतील रसायने समजून घेण्याकरता आणि त्या ज्ञानाचा उपयोग, सुरक्षित आणि परवडणारी औषधे विकसित करण्याकरता, असीमांनी आपले आयुष्य समर्पित केले. त्यांच्या कार्यामुळे क्लिष्ट रेणूंच्या संरचना समजून घेता आल्या. नवीन संयुगे शोधून काढता आली. तसेच, मलेरिया आणि अपस्मार यांकरता औषधनिर्मितीही करता आली. देशी वनस्पतींपासून, कोणतेही धोकादायक उपप्रभाव नसलेली औषधे निर्माण करणे शक्य झाले. रसायनशास्त्राकडे त्यांनी सामाजिक जबाबदारी म्हणून पाहिले. त्यांनी संशोधन प्रयोगशाळा निर्माण केल्या. राष्ट्रीय आणि आंतरराष्ट्रीय संस्थांकडून गुंतवणूक आकर्षून घेतली. त्यांनी भारतीय कंपन्यांच्या बाजूने कायदेशीर लढाईत साक्षही दिली.

२३ सप्टेंबर १९१७ रोजी डॉ. इंद्रनारायण मुखर्जी आणि कमलादेवी यांचे पोटी असीमा यांचा जन्म झाला. इंद्रनारायण वैद्यकीय डॉक्टर होते. त्यांचा कल वनस्पतिशास्त्राकडे होता. कमलादेवींच्या शिस्तशीर छायेतच असीमा आणि त्यांचा धाकटा भाऊ सरशीरंजन वाढले. बंधू सरशीरंजन मुखर्जी, पुढे विख्यात शल्यचिकित्सक झाले आणि त्यांनी असीमांना औषधी वनस्पती संशोधनात सहकार्य केले. रक्तदाब, निम्नताप (हायपोथर्मिया) आणि अपस्मार (एपिलेप्सी) यांसारख्या रोगांवरील त्यांच्या कार्यास मान्यता मिळाली. इंद्रनारायण यांच्या व्यवसायामुळे घरात आरोग्य, औषधी वनस्पती आणि अनुभवाधारित तर्क यांवर चर्चा होत असत.

भाषा, अंकगणित, संगीत वा निसर्गजगताबाबत असीमा खूपच उत्सुक असत. बालपणापासूनच त्यांना संगीत आवडत असे. ध्रुपद आणि ख्याल गायकीच्या अभिजात संगीताचे शिक्षणही त्यांना सलग चौदा वर्षे मिळाले होते. १९३३ मध्ये ऑल बेंगॉल म्युझिक कॉंपिटिशनमध्ये त्यांचा गुणानुक्रम दुसरा लागला होता. त्या संस्कृतशी परिचित राहतील याची काळजी त्यांच्या पालकांनी घेतलेली होती, त्यामुळे प्राचीन भारतातील विख्यात लेखकांचे महान ग्रंथ त्या वाचू शकल्या.

असीमा 'बिटून कॉलेजिएट स्कूल'मध्ये शिकल्या. भारतातील स्त्रीशिक्षणाकरताच्या पथदर्शी संस्थांपैकी ती एक होती. शाळेच्या वर्गांत असीमांना असे शिक्षक लाभले जे, बुद्धिवंत मुलींतील आकांक्षांना आपली जबाबदारी मानत



असीमा चटर्जी

जन्म : २३ सप्टें. १९१७, कोलकाता.

मृत्यू : २२ नोव्हें. २००६, कोलकाता.

होते. असीमा १९३२ मध्ये शालान्त परीक्षा उत्तीर्ण झाल्या. त्यांना बंगाल सरकारची शिष्यवृत्ती प्राप्त झाली. १९३४ मध्ये, त्या बिटून महाविद्यालयातून आय.एस.सी. परीक्षेत सर्वोत्तम ठरल्या. त्यांच्या उत्कृष्ट शैक्षणिक कर्तबाखातर त्यांना बंगाल सरकारची शिष्यवृत्ती, नबाब लतीफ शिष्यवृत्ती मिळाली आणि कोलकाता विद्यापीठाची फादर लाफाँट शिष्यवृत्ती तसेच हेमप्रोव बसू स्मृती पदकही प्राप्त झाले होते.

त्यांनी कोलकाता विद्यापीठातील स्कॉटिश चर्च कॉलेजात नाव दाखल केले. तिथे उच्च शिक्षणाकरता दाखल झालेल्या तीन मुलांपैकी त्या एकट्याच स्त्री होत्या. तिथून १९३६ मध्ये त्यांनी ऑनर्ससह, अपवादात्मक गुणवत्तेने, रसायनशास्त्रातील बी.एससी. केले. त्यांना त्याकरता बसंती दास सुवर्णपदक मिळाले. १९३८ मध्ये असीमांना कोलकाता विद्यापीठाकडून सेंद्रिय रसायनशास्त्रात एम.एससी. पदवी मिळाली. गुणानुक्रमे दुसरी आल्याखातर विद्यापीठाचे रौप्यपदकही प्राप्त झाले. तसेच, जोगमायादेवी सुवर्णपदकही मिळाले. त्यांनी डॉ. प्रफुल्लकुमार बसू यांच्या हाताखाली नैसर्गिक उत्पादनांवर संशोधन सुरू केले. १९४० मध्ये त्यांना, रसायनशास्त्र विभागात, उत्कृष्ट संशोधन केल्याखातर कोलकाता विद्यापीठाकडून नागार्जुन पुरस्कार आणि सुवर्णपदक मिळाले. मग त्यांनी लेडी ब्रेबॉर्न कॉलेजात संस्थापक रसायनशास्त्र विभागप्रमुख म्हणून कारकीर्द सुरू केली.

१९४२ मध्ये असीमांना प्रेमचंद रायचंद शिष्यवृत्ती मिळाली. तसेच १९४४ मध्ये त्यांना कोलकाता विद्यापीठातून, त्यांच्या संशोधनाखातर डी.एससी. पदवी आणि विद्यापीठाचा बहुप्रतिष्ठित 'मौअट सुवर्णपदका'चा सन्मानही मिळाला. त्यांच्या शोधनिबंधाचे नाव होते, 'नॅचरली ऑकरिंग इंडोल अल्कलाईडस अँड कौमरिन्स.' कोणत्याही भारतीय विद्यापीठातून अशी पदवी मिळवणाऱ्या त्या पहिल्याच महिला होत्या. मग त्यांची कोलकाता विद्यापीठातील रसायनशास्त्र विभागात ऑनररी लेक्चरर म्हणून नियुक्ती झाली. अदृश्य रेणूंची पुनर्रचना केल्यास; रंग, गंध, वैद्यक सामर्थ्य आणि विषप्रवृत्ती बदलत असते; या संकल्पनेचे त्यांना फारच अप्रूप वाटे.

असीमांच्या पदव्युत्तर अभ्यासादरम्यान त्या प्रसिद्ध शिक्षक आणि अध्यापकांच्या निकट संपर्कात आल्या. त्यांत होते आचार्य प्रफुल्लचंद्र राय, प्राध्यापक प्रफुल्लचंद्र मित्तर, पुलिन बिहारी सरकार, जोगेंद्रचंद्र बर्धन, प्रफुल्लकुमार बसू, ज्ञानेंद्रनाथ मुखर्जी आणि प्रियरंजन राय. या सगळ्यांचाच प्रभाव त्यांच्या भावी कारकिर्दीवर पडला.

वनस्पतिरस म्हणजे जैवसक्रिय, पोषणविहीन वनस्पतीज संयुगे असतात, जी वनस्पतींनी रोगजंतू (पॅथोजन) आणि जम्बुपार प्रारणांसारख्या धोक्यांपासून स्वतःच्या संरक्षणार्थ निर्मिलेली असतात. त्यांचे सेवन केले असता मनुष्यमात्रांना आरोग्यकारक लाभ होऊ शकतात, जसे की कर्करोग, रुधिराभिसरणात्मक रोग इत्यादी बद्धमूल आजारांचा धोका घटणे, प्रतिप्राणिलिकारक संरक्षण पुरवणे आणि दाहप्रतिबंधन. वनस्पतीज संयुगे अनेक प्रकारची असतात. त्यातील बव्हंशी संयुगे चार प्रमुख वर्गांत विभागली जाऊ शकतात. अल्कलाईडे, फेनिलप्रोपेनाईड, पॉलिकेटाइडस आणि टर्पेनॉइड. यांना सामान्यतः सुगंधी द्रव्ये म्हणून ओळखले जाते.

अल्कलाईड हे नत्रयुक्त सेंद्रिय पदार्थ असतात. अनेकदा ते शरीरशास्त्रीय दृष्ट्या सक्रिय असतात आणि बहुधा संरचनात्मक दृष्ट्या क्लिष्ट असतात. अनेकांत संमीलित, वलयी प्रणाली असतात. पुनरावर्ती-रसायनशास्त्रीय (स्टिरिओ-केमिकल) गुंतागुंती असतात आणि तरल (सबटल) कार्यकारी गटही असतात, जे जैवसक्रियता प्रभावित करतात. त्यांचे वनस्पती आधारद्रव्यापासून विलगीकरण पृथःक्करण, विज्ञानातील एक स्वाध्यायच असतो. तसेच त्यांचे संरचनात्मक निर्धारण, निष्कर्षणात्मक तर्कशक्तीचाही एक स्वाध्यायच असतो.

विसाव्या शतकाच्या मध्यात; उच्च सापेक्ष-पृथकतेचे आण्विक चुंबकीय अनुनादी वर्णपटदर्शन (न्युक्लिअर मॅग्नेटिक रेझोनन्स, एन.एम.आर. स्पेक्ट्रोमिटरी), प्रगत वस्तुमान वर्णपटदर्शन (ॲडव्हान्सड मास स्पेक्ट्रोमिटरी) आणि क्ष-किरण स्फटिकारेखन (एक्स रे क्रिस्टलोग्राफी) यांसारख्या आधुनिक वर्णपटदर्शन सुविधा; एक तर उपलब्धच नव्हत्या किंवा भारतीय प्रयोगशाळांना अंशतः उपलब्ध होत्या. संरचनात्मक स्पष्टीकरण प्रामुख्याने अभिजात पद्धतींवर अवलंबून राहत असे. रेणुसूत्रनिर्धारणाकरता घटक विश्लेषण, शुद्धतेच्या तपासाकरता वितळणबिंदू, हस्तरूपता (चिरालिटी) तपासाकरता प्रकाशकीय चक्रण आणि ओळख पटवता येईल असे घटक दिसण्याकरता रेणूंच्या रासायनिक अवनती अभिक्रिया; या त्या पद्धती आहेत.

हस्तरूपता म्हणजे आरशातील प्रतिबिंबांशी तंतोतंत न जुळणारी सममितता, जसा डावा हात उजव्याशी मिळताजुळता असत नाही. हस्तरूपता असलेले रेणू जोडी-जोडीने वावरतात. त्यांना हस्तरूपरेणूयुगल (इनान्शिओमर) म्हणतात. केंद्रात कर्बरेणू असेल आणि चार निराळे अणू वा गट त्यास जोडलेले असतील त्या रेणूस हस्तरूप रेणू म्हणतात. रसायनशास्त्रात ही हस्तरूपता कळीची असते.

हस्तरूप रेणूयुगले अनेकदा निरनिराळ्या जैवसक्रियता दाखवतात, ज्यामुळे औषध निर्मितिशास्त्रात ती अतिशय लक्षणीय ठरतात.

वनस्पती निष्कर्षिताचे प्रथम आम्ल-विम्लनिष्कर्षण केले जाते, विरक्त संयुगांपासून अल्कलाईडे निराळी करण्याकरता त्यांच्या गुणधर्मांचा वापर केला जातो. नंतर आंशिक स्फटिकीकरण केले जाते किंवा वर्णपटालेखन करून शुद्ध नमुने गोळा केले जातात. रसायनशास्त्रज्ञ मग घटकांचे परिमाण आणि रेण्वीय वस्तुमान शोधून काढतात. त्यानंतर प्राणीलीकरण, क्षपण, जलविच्छेदन (हायड्रोलिसिस), ॲसिलिकरण (ॲसिटिलेशन) अशा काळजीपूर्वक संकल्पित अभिक्रियांची एक मालिकाच घडवली जाते. त्यातून उद्भवलेल्या पदार्थांची तुलना करता येते. प्रत्येक अभिक्रिया रेणूला विचारलेल्या प्रश्नासारखी असते. तुझ्यात कोणता कार्यगट आहे? तुझा कणा किती वलयांनी घडलेला आहे? नत्र कुठे स्थित आहे? रेणू तोंडाने उत्तर देत नसे. तो उत्कलनबिंदू, विद्राव्यता वा अभिक्रियाशीलतेने उत्तर देत असे.

१९४५ मध्ये असीमांचा विवाह, विख्यात भौतिक-रसायनशास्त्रज्ञ डॉ. वरदानंद चटर्जी, या समकालीन शिक्षणतज्ज्ञाशी झाला. त्यांनाही संशोधनाबाबत असीमांच्या इतकाच आदर वाटत असे. ते पुढे बेंगॉल इंजिनीअरिंग कॉलेज हौराह येथे प्राध्यापक आणि रसायनशास्त्र, भूशास्त्र व धात्विकी विभागप्रमुख, तसेच उपप्राचार्यही झाले. वरदानंद यांचा असीमा यांच्यावर गहरा प्रभाव पडलेला होता. त्यांच्या सततच्या प्रेरणेविना, प्रोत्साहनविना आणि सहकार्याविना असीमा यांना विज्ञानकार्यास वाहून घेणे अशक्यच झाले असते. त्यांना एक मुलगी होती. तिचे नाव ज्युली. त्या कोलकाता विद्यापीठात सेंद्रिय रसायनशास्त्राच्या प्राध्यापक झाल्या. ज्युली यांनी प्राध्यापक अविजित बॅनर्जी यांच्याशी विवाह केला. त्याच विद्यापीठात ते रसायनशास्त्र विभागात होते. ज्युली आणि अविजित दोघेही कोलकाता विद्यापीठात सन्माननीय सेंद्रिय रसायनशास्त्रज्ञ आणि प्राध्यापक राहिले. ज्युली पुढे विभागप्रमुखही झाल्या.

असीमा १९४७ मध्ये अमेरिकेत गेल्या. सोबत अकरा महिन्यांची मुलगी आणि तिची आयाही होती. प्रथम विस्कॉन्सिन विद्यापीठात, नंतर कॅलिफोर्निया इन्स्टिट्यूट ऑफ टेक्नॉलॉजीत (कॅल्टेकमध्ये) आणि १९४९ मध्ये स्वित्झर्लंडमधील झुरीच विद्यापीठात त्यांनी संशोधन केले. तेथे त्यांनी १९३७ सालचे नोबेल पारितोषिक प्राप्त करणाऱ्या पॉल करेर यांच्यासोबत काम केले. विषय होता 'जैवदृष्ट्या सक्रिय अल्कलाईडे.' पुढे आयुष्यभर त्यांना त्यात स्वारस्य राहिले. हे करत असतानाच त्यांना उर्वरित संशोधन-कारकीर्द, नैसर्गिक उत्पादन रसायनशास्त्रावर काम करण्यात वेचावी असे वाटू लागले होते. त्याबद्दल कुतूहल वाटू लागले होते. या आंतरराष्ट्रीय अनुभवांमुळे त्यांची समकालीन पद्धतींशी आणि जागतिक संशोधन संघटनांशी ओळख झाली. मात्र या दरम्यानही त्यांचे औत्सुक्य भारतीय औषधी वनस्पतींवरच खिळलेले असे.

असीमा १९५० मध्ये भारतात परतल्या आणि कोलकाता विद्यापीठातील लेडी ब्रेबॉर्न कॉलेजात, त्यांनी अल्कलाईडे आणि कौमरिनांवर गहन संशोधन सुरू केले. त्यांच्या संशोधनाचा मध्यवर्ती आशय, सर्पगंधा प्रजातीतून निष्कर्षित इंडोल अल्कलाईडांचा अभ्यास हा होता. या वनस्पती पूर्वीपासूनच रक्तदाब आणि मज्जासंस्थात्मक आजारांवरच्या पारंपरिक औषधांत वापरल्या जात असत. मात्र संबंधित अल्कलाईडांचे विस्तृत रासायनिक कुटुंब, पुरेसे स्वभावांकित झालेले नव्हते. निरनिराळ्या इंडोल अल्कलाईडांमधील संरचनात्मक संबंध स्पष्ट करण्यात त्यांच्या कार्याने लक्षणीय सहभाग दिला. त्यांनी इंडोल अल्कलाईडांमधील जैवसंश्लेषणाबाबतची जागतिक जाण घडवण्यात महत्त्वाची भूमिका बजावली. वनस्पती प्रजातींतील संरचनात्मक कुटुंबे ओळखण्याचे सामर्थ्य मिळाल्याने, वनस्पतींतील उत्क्रांतीदरम्यानची आणि जैवरासायनिक संबंधांतील जाणही समृद्ध झाली.

रेण्वीय संरचना जैव प्रतिक्रिया निर्धारित करत असतात, या तत्त्वावर तिचे विश्लेषण केले जाते. संबंधित संयुगांची तुलना करून आणि सक्रियतेतील बदल लक्षात घेऊन, रसायनशास्त्रज्ञ कोणती संरचनात्मक वैशिष्ट्ये आवश्यक आहेत त्याचे अनुमान करतात. असीमांना सुरुवातीपासूनच हे माहीत होते, की भारतीय वनस्पतिशास्त्राचा वारसा प्रचंड रासायनिक ज्ञानाचा होता. केवळ त्याच्या प्रणालीबद्ध दोहनाचीच गरज होती. पारंपरिक औषधी व्यवहार त्यांच्या मते अंधविश्वासावर आधारित होते. अनुभवांवर आणि परंपरांवर आधारित होते. त्यांना शास्त्रीय निकषांवर आणणे आवश्यक होते. १९५४ मध्ये कोलकाता विद्यापीठाच्या रसायनशास्त्र विभागात असीमांची प्रपाठक म्हणून नियुक्ती झाली.

वनस्पतींच्या करवीर (अपोसायनासी) कुलातील सर्पगंधा (रौवुल्फिया) ही एक आगळीच औषधी वनस्पती आहे. औषधनिर्मितीशास्त्राचे दृष्टीने महत्त्वाची अल्कलाईडे असलेली ही वनस्पती आहे. रक्तदाब आणि मानसिक विकारांवर ही वापरली जाते. पुरातन काळापासून सर्पगंधा ही औषधीदृष्टीने महत्त्वाची वनस्पती राहिलेली आहे. तिचा

वास सापासारखा येत असल्याने संस्कृतात तिला सर्पगंधा हे नाव दिले गेले. रिसर्पिन अल्कलाईड वनस्पतीच्या मुळापासून विलग केले जाते आणि रक्तदाब, मनःक्षोभ व अन्य समस्यांच्या निरसनार्थ सर्वदूर वापरले जाते. रिसर्पिन अल्कलाईडांकडे औषधीच्या विकासार्थ सर्व जगाचे लक्ष वेधले गेले आहे.

असीमांची १९६० मध्ये नॅशनल इन्स्टिट्यूट ऑफ सायन्स, इंडिया या संस्थेच्या फेलो म्हणून निवड झाली. (हल्ली ही संस्था इंडियन नॅशनल सायन्स ॲकॅडमी, इन्सा, म्हणून ओळखली जाते). १९६१ मध्ये भारत सरकारच्या सी.एस.आय.आर.कडून दिला जाणारा रसायनशास्त्रातील शांतिस्वरूप भटनागर पुरस्कार त्यांना प्राप्त झाला. असा सन्मान मिळणाऱ्या त्या पहिल्याच महिला होत्या.

१९६२ मध्ये असीमा यांची नियुक्ती, कुमार गुरुप्रसादसिंग खैरा प्राध्यापक रसायनशास्त्र म्हणून झाली. या प्रतिष्ठित पदावर, त्या १९८२ मध्ये सेवानिवृत्त होईपर्यंत, कार्यरत होत्या. नैसर्गिक उत्पादन रसायनशास्त्रास सशक्त करण्याचे त्या समर्थन करत असत. उपखंडीय जैवविविधता केवळ पर्यावरणीय समृद्धीच नव्हे तर, रासायनिक संभावनाही व्यक्त करते ही त्यांची धारणा सुस्पष्ट होती.

प्राध्यापक असीमा चटर्जी, औषधी रसायनशास्त्र आणि कर्करोगावरील औषधसंशोधनांतील पथदर्शी शास्त्रज्ञ होत्या. रासायनिक संयुगांवरील चार दशकांच्या संशोधनांत त्यांनी कर्करोगाचा अभ्यास केला आणि कर्करोग प्रतिबंधक औषधांचाही अभ्यास केला.

असीमा यांचे वडील १९६७ मध्ये आणि थोड्याच काळात पतीही निवर्तले. हा दुहेरी वियोग खचवून टाकणाराच होता. त्यामुळे त्यांना गंभीर स्वरूपाचा हृदयाघात सोसावा लागला. अनेक महिन्यांपर्यंत त्या, या धक्क्यातच वावरत होत्या. रामकृष्ण मठाचे आध्यात्मिक मार्गदर्शन तसेच विद्यार्थ्यांचे व सहकाऱ्यांचे प्रेम त्यांना परत कामावर घेऊन आले. प्राध्यापक वरदानंद चटर्जींवरील त्यांची निष्ठा आणि आदर यांमुळे त्यांनी बेंगाल इंजिनीअरिंग कॉलेज, हौराह येथे दरवर्षी आयोजित केल्या जाणाऱ्या वरदानंद स्मृतिव्याख्यानांची सुरुवात केली. याकरता, मृदा-रसायनशास्त्र वा गंजणे या क्षेत्रात लक्षणीय योगदान दिलेल्या भारतातील आघाडीच्या रसायनशास्त्रज्ञांना आमंत्रित केले जात असे.

१९६८ मधील एका विख्यात खटल्यात प्रफुल्लचंद्र राय यांनी स्थापन केलेली बेंगाल केमिकल्स अँड फार्मास्युटिकल वर्क्स लिमिटेड आणि होचेस्ट कंपनी लिमिटेड यांच्यात वाद होता. सल्फोमोनाइड साधिताच्या स्वामित्वहक्काचे उल्लंघन झाल्याबाबतचे हे प्रकरण होते. असीमा चटर्जी यांनी भारतीय कंपनीकडून प्रमुख साक्षीदार म्हणून काम केले. असीमा यांचे सेंद्रिय रसायनशास्त्रातील सखोल ज्ञान, साहस आणि दृढ असलेल्या धारणा यांचे आधारे बेंगाल केमिकल्स अँड फार्मास्युटिकल वर्क्स लिमिटेड यांनी या कायदेशीर लढाईत विजय मिळवला.

त्या १९६९ पर्यंत कोलकाता विद्यापीठाच्या रसायनशास्त्रविभागाच्या प्रमुख झाल्या आणि १९७९ पर्यंत तेथे कार्यरत राहिल्या. त्यांच्या नेतृत्वाखाली रसायनशास्त्र विभागात लक्षणीय रूपांतर झाले. १९७२ मध्ये विद्यापीठ अनुदान आयोगाने एका कार्यक्रमास विशेष मदत मंजूर केली. नैसर्गिक उत्पादन रसायनशास्त्रातील शिक्षण आणि संशोधन सशक्त करण्याचा तो कार्यक्रम होता. असीमाच त्या कार्यक्रमाच्या मानसेवी समन्वयक असणार होत्या.

प्राध्यापक चटर्जी १९५७ मध्ये क्वालालंपूर येथे आणि १९६१ मध्ये हाँगकाँग येथे भरलेल्या युनेस्कोच्या वनस्पतिरसायनशास्त्रावरील परिषदांच्या अध्यक्ष होत्या. नैसर्गिक उत्पादनांच्या रसायनशास्त्रावरील झुरीचमध्ये १९५५ मध्ये झालेल्या, ऑस्ट्रेलियात १९६० मध्ये झालेल्या, जपानमध्ये १९६४ मध्ये झालेल्या आणि जे.एस.एस.आर.मध्ये १९७० मध्ये झालेल्या आय.यू.पी.ए.सी. अंतर्गतच्या परिषदांतही त्या अध्यक्ष होत्या. 'ब्रिटिश असोसिएशन फॉर द अडव्हान्समेंट ऑफ सायन्स'च्या १९७० आणि १९७१ मध्ये झालेल्या सभांतही त्या उपस्थित होत्या. त्या वेळी त्यांनी निरनिराळ्या ब्रिटिश विद्यापीठांना भेटी दिल्या.

मोठ्या संख्येतील विद्यार्थ्यांनी त्यांचे मार्गदर्शनाखाली पीएच.डी. आणि डी.एससी. पदव्या प्राप्त केलेल्या आहेत. त्यांपैकी अनेक जण भारतात आणि परदेशीही शैक्षणिक आणि औद्योगिक संस्थांतून सर्वोच्च पदे भूषवत आहेत. त्यांपैकी अनेकांनी नैसर्गिक उत्पादन रसायनशास्त्रावर आपापल्या प्रशाला विकसित केलेल्या आहेत आणि भारत व विदेशातही आपापल्या क्षेत्रांतील विकासात कळीची भूमिका बजावत आहेत. यांत अनेक महाविद्यालये, संशोधनसंस्था, विद्यापीठे, उद्योग आणि धोरणनिर्मात्या संस्था समाविष्ट आहेत.

असीमांच्या संशोधनाची सर्वात लक्षणीय दिशा, स्वदेशी वनस्पतींपासून मलेरिया प्रतिबंधक द्रव्य मिळवण्याकरताच्या सातत्याने केलेल्या कामात होती. मलेरिया हे भारतातील सार्वजनिक आरोग्यास दीर्घकाळ टिकून असलेले आव्हान होते. क्विनाइनवरचा जागतिक विश्वास आणि नंतर कृत्रिम मलेरियाप्रतिबंधक द्रव्ये त्यास हटवू शकलेली नव्हती. उलट

त्या द्रव्यांप्रती प्रतिरोध निर्माण होऊ लागलेला होता. तो अधिक गंभीर होता. या संदर्भात त्यांचे वनस्पतीज संयुगांकडे सामाजिक जबाबदारी म्हणून लक्ष होते. प्राध्यापक असीमा चटर्जी यांचा मलेरियाप्रतिबंधक औषधाच्या संशोधनातील सहभाग, संरचनात्मक रसायनशास्त्रापासून उपायोजित वैद्यक विज्ञानाच्या दिशेने पुढे झालेला लक्षणीय विस्तार सूचित करतो. डासांद्वारा प्लाझ्मोडियम पॅरासाइटकडून संक्रमित झालेल्या मलेरियाचे एक गुंतागुंतीचे जीवनचक्र असते, जे अजूनही निर्मूलनास कठीण आहे. उपचाराची व्यूहरचना औषधरोधामुळे क्लिष्ट होते. वनस्पतीज संयुगांचा तपास करताना कृत्रिम औषध विकासाचा मार्ग लक्षात आला.

त्यांच्या संशोधन गटासोबत काम करताना त्यांनी अनेक वनस्पती प्रजातींतील जैवसक्रिय संयुगे तपासली. त्यांच्या रासायनिक संरचना, प्रतिक्रियाशीलता आणि उपचारात्मक आशा यांचाही अभ्यास केला. आयुष-६४ यासारख्या मलेरियाप्रतिबंधक औषधाच्या विकासातील त्यांची भूमिका महत्त्वाची होती. बहुवनस्पतीज सिद्धता आयुर्वेदिक परंपरेचा एक भाग आहे. ती आधुनिक औषधनिर्मिती मूल्यांकनांतून परिष्कृत करून याकरता वापरण्यात आली होती. पारंपरिक वैद्यकीय ज्ञान सोडून देऊ नये, तसेच न तपासता स्वीकारूही नये, किंबहुना तपशीलवार रासायनिक पद्धतींनी आणि जैवविश्लेषणांनी ते तपासावे, ही त्यांची दीर्घकालीन दृढ धारणा होती. आयुष-६४ला यथावकाश मलेरिया व्यवस्थापनात मान्यता मिळाली आणि अभिजात भारतीय औषधी आणि प्रयोगशालेय विज्ञान यांचा दुर्मिळ संगम साध्य झाला. त्यांच्या कार्याने पारंपरिक ज्ञान आणि आधुनिक विज्ञान परस्परांशी जोडले गेले. त्यामुळे विकास आणि वनस्पती रसायनशास्त्रीय महत्त्वाच्या द्रव्यांच्या- जसे की मलेरियाप्रतिबंधक आयुष-६४ आणि अपस्मारावरील उपचारांकरताचे आयुष-५६ यांच्या- मानकीकरणास चालना मिळाली. भारत सरकारने या द्रव्यांचे स्वामित्वहक्क मिळवले.

प्राध्यापक असीमा चटर्जी यांचे कार्य फेफरेप्रतिबंधक संशोधनापर्यंत विस्तारले. विद्यमान औषधांना पर्यायी वा पूरक औषधे ठरू शकणाऱ्या वनस्पतीज संयुगांचा शोध घेऊ लागले. त्यांनी फेफरेप्रतिबंधक औषध आयुष-५६चा विकास केला. मार्सिलिआ मायन्युटा (जलनेचे, सुनिसन्नाका) आणि नार्डोस्टाची जटामानसी (जटामानसी) ही वनस्पतीज निष्कर्षणे त्यात समाविष्ट होती. त्यातील काही तपास गवेषण संशोधनातच राहिली, तरी सातत्याने त्यांचा कल उपचारात्मक औचित्याकडे दिसून आला. असीमांकरता रसायनशास्त्र, मानवी प्रभावांपासून विलग नव्हते. त्यांच्याकरता प्रत्येक शोध वा प्रयोगास मानवी आरोग्यावर आणि कल्याणावर प्रभाव असणार होता. औषधी वनस्पतींवरील त्यांचे कार्य, फेफरेप्रतिबंधक आयुष-५६, मलेरियाप्रतिबंधक आयुष-६४ औषधे आणि कर्कसंबंधी संशोधन असे दर्शवते, की रसायनशास्त्राद्वारे लोकांचे आयुष्य कसे चांगले करता येईल यावरच त्यांचे लक्ष केंद्रित असे, शास्त्रीय नेमकेपणा आणि सामाजिक जबाबदारी दोन्हींची सांगड घालत असे. दुसऱ्या शब्दांत सांगायचे तर त्या रसायनशास्त्राकडे असे एक अवजार म्हणून पाहत होत्या, जे केवळ शैक्षणिक न राहता व्यवहारात माणसास उपयुक्त ठरेल.

त्यांच्या प्रयोगशालेय कटिबद्धतांच्या समांतर, प्राध्यापक असीमा राष्ट्रीय सल्लागाराची भूमिकाही पार पाडत होत्या. १९८२ मध्ये राष्ट्रपतींकडून त्यांची राज्यसभेवर नियुक्ती झाली. त्यांच्या बौद्धिक अधिकाराचीच ती परिणती होती, त्यास सरकारने दिलेली ती मान्यता होती. संसदेत त्यांनी शास्त्रीय संशोधनास, विशेषतः विद्यापीठांतील संशोधनास सशक्त करण्याचे समर्थन केले. संशोधनास दिलेल्या निधीकडे राष्ट्रीय गुंतवणूक म्हणून पाहावे, खर्च म्हणून नको हे त्यांनी अधोरेखित केले. संसदेतील त्यांच्या वावराने त्यांच्या सार्वजनिक आयुष्याचा आणखी एक पैलू समोर आला. त्यांची अशी धारणा होती, की केवळ संशोधन करणेच नव्हे तर त्यास धार्जिणी धोरणनिर्मिती करणे हीही शास्त्रज्ञांची जबाबदारी आहे.

प्राध्यापक असीमा चटर्जी त्यांच्या कारकिर्दीच्या सुरुवातीपासूनच अशी दृष्टी बाळगून होत्या, की भारतीय औषधी वनस्पतींच्या अभ्यासाकरता, अशी एखादी संस्था स्थापन करण्याची आवश्यकता आहे जी; नवीन आयुर्वेदिक सूत्रांच्या सिद्धतेस आणि पश्चिम बंगालच्या लोकांकरता आयुर्वेदिक शुश्रूषालयाच्या स्थापनेस स्वतःस वाहून घेईल. प्राध्यापक असीमा यांना तत्कालीन मुख्यमंत्री ज्योती बसू यांनी सॉल्ट लेक सिटीत ३.५ एकर जागेची उदार देणगी दिली. तेव्हा हे स्वप्न साकार होताना दिसू लागले. भारत सरकारच्या आरोग्य आणि कुटुंबकल्याण मंत्रालयाकडून त्यांनी चार कोटी रुपयांचा इमारतनिधीही प्राप्त केला. राज्य आणि केंद्र सरकारांच्या या लक्षणीय सहकार्यातून प्रादेशिक संशोधन संस्था, उभी राहिली नंतर केंद्रीय संशोधन संस्था, आयुर्वेद म्हणून भारत सरकारच्या आरोग्य आणि कुटुंबकल्याण मंत्रालयांतर्गत तिचे उर्ध्वश्रेणीकरण करण्यात आले. प्राध्यापक असीमा चटर्जी तिच्या मानसेवी प्राचार्य समन्वयक म्हणून अनेक वर्षे कार्यरत होत्या. त्यांनी तिच्या विकासात कळीची भूमिका बजावली. संस्थेत एक आयुर्वेदिक शुश्रूषालय आहे. रसायनशास्त्र, जीवशास्त्र आणि

औषधनिर्मितीशास्त्र यांकरता विशेष संशोधनकेंद्रे आहेत. भारतीय औषधी वनस्पतींपासून निष्कर्षित औषधे निर्माण करण्यावर ती लक्ष केंद्रित करत असतात. आयुर्वेदिक सूत्रांच्या (फॉर्म्युलेशन), प्रणालीबद्ध क्लिनिकल ट्रायल्सच्या आणि भारतभर ही औषधे वितरीत करण्याच्या कार्यात ही केंद्रे सक्रिय आहेत. त्यांच्या मार्गदर्शनाला मान्यता मिळत गेली. तरीही त्या सन्मानांना सामुदायिक श्रेयच मानत असत. व्यक्तिगत श्रेय नाही.

असीमांना रसायनशास्त्रातले, विज्ञान आणि तंत्रज्ञानाकरताचे, प्रतिष्ठेचे शांतिस्वरूप भटनागर पारितोषिक १९६१ मध्ये मिळाले. नैसर्गिक स्रोतांपासून औषधांचा विकास करण्यातील त्यांच्या मूल्यवान सहभागाकरता ते मिळाले होते. असीमा यांचे बंधू सरशीरंजन मुखर्जी विख्यात शल्यचिकित्सक होते आणि औषधी वनस्पतींवरील त्यांच्या संशोधनात ते बहिणीस सहकार्यही करत होते. सरशीरंजन रक्तदाब, निम्नताप (हायपरथर्मिया) आणि अपस्मार यांसारख्या व्याधींच्या अभ्यासाकरता ओळखले जात असत. त्यांना विज्ञान आणि तंत्रज्ञानाकरताचे, प्रतिष्ठित शांतिस्वरूप भटनागर पारितोषिक १९६८ मध्ये मिळाले. मज्जा-जैवशास्त्र, आण्विक औषधी या क्षेत्रांतील वैद्यकशास्त्रातील सहभागाकरता त्यांना ते लाभलेले होते. आजवर असीमा आणि सरशीरंजन हेच बहीणभाऊ असे आहेत, ज्या दोघांनाही विज्ञान आणि तंत्रज्ञानाकरताचे, प्रतिष्ठित शांतिस्वरूप भटनागर पारितोषिक लाभले आहे.

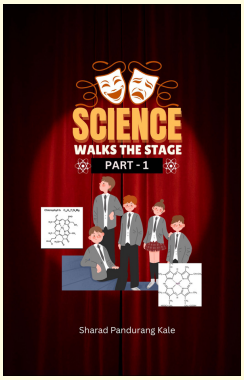
२२ नोव्हेंबर २००६ रोजी असीमा चटर्जी निवर्तल्या. मागे प्रकाशने राहिली. पुरस्कार राहिले. विद्वानांचे मोठेसे महाजाल राहिले. असीमांना १९७४ मध्ये सर प्रफुल्लचंद्र राय पुरस्कार; १९७५ मध्ये भारत सरकारचा पद्मभूषण पुरस्कार; १९८८ मध्ये भारतीय रसायनशास्त्र समाजात प्राध्यापक पी.के. बसू व्याख्याता म्हणून नियुक्ती; १९७६ मध्ये बरद्वान तर १९८२ मध्ये बनारस आणि १९९९ मध्ये कल्याणी विद्यापीठाची सन्माननीय डी.एससी. पदवी प्राप्त झाली. इतरही अनेक सन्मान व पुरस्कार त्यांना लाभलेले होते. असीमांचे साहित्यिक आणि संपादकीय कार्यही खूप मोठे आहे. त्यातील ठळक कामे पुढीलप्रमाणे आहेत-

१. माध्यमिक विद्यार्थ्यांकरता असीमांनी 'सराई माध्यमिक रसायन' हे रसायनशास्त्रावरील पुस्तक, बंगाली भाषेत लिहिले. बंगीय विज्ञान परिषदेने ते प्रकाशित केले. ही संस्था स्वतः सत्येंद्रनाथ बसू यांनी, विज्ञानास लोकप्रिय करण्यासाठी स्थापन केली आहे.
२. प्राध्यापक चटर्जी यांनी सुधारित सहा खंडीय 'भारतीय बनौषधी' या ग्रंथाचे संपादन आणि सुधारणही केले आहे. बंगाली भाषेतील हा ग्रंथ भारतीय औषधी वनस्पतींवरील कोलकाता विद्यापीठ मुद्रणालयातर्फे प्रकाशित झाला (खंड-१ ते ५, १९७३; खंड-६, १९७७).
३. 'द ट्रिटीज ऑफ इंडियन मेडिसिनल प्लँट्स' या सी.एस.आय.आर.कडून प्रकाशित झालेल्या सहा खंडीय ग्रंथाचेही संपादन असीमा यांनीच केले आहे.

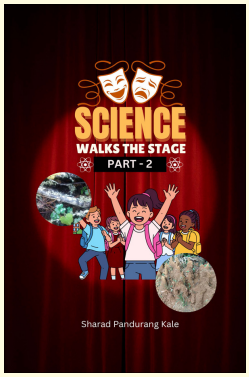
भारतीय औषधी वनस्पतींपासून व्यवहार्य औषधे निर्माण करण्याकरता आयुष्य वेचणाऱ्या या प्रज्ञावंत शास्त्रज्ञास मानाचा मुजरा! आपण त्यांच्या कर्तृत्वाचे कायमच स्मरण ठेवू या.

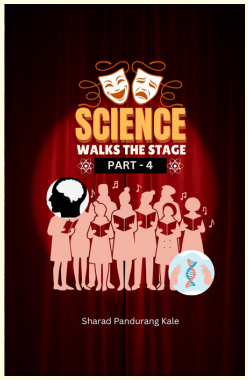
– नरेंद्र गोळे
nvgole@gmail.com

Valuable Books for Creating Scientific Awarness
by Sharad Kale









Each book Price : Rs. 400/- Discounted : Rs. 240/-

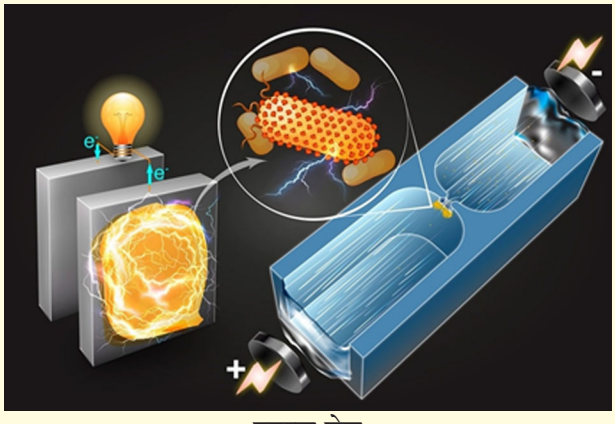


सूक्ष्मजैविक ऊर्जास्रोत

डॉ. रंजन गर्गे

चरमसीमाजीवी सूक्ष्मजीवांना सभोवतालच्या परिसंस्थेशी जुळवून घेण्यासाठी खूप सर्जनशील अनुकूलन पद्धती अवलंबावी लागते. ऑक्सिजनचे प्रमाण कमी असले किंवा मुळीच नसले तर अस्तित्वासाठी त्यांना ऑक्सिजनशिवाय श्वसनाची नवीन पद्धत अंगिकारावी लागते. असे हे कठीण परिस्थितीत आपले अस्तित्व राखणारे सूक्ष्मजीव एखाद्या खाणीच्या खोलवर तळाशी सापडतात, तलावाच्या तळाशी साचलेल्या गाळात सापडतात किंवा अगदी आपल्या आतड्यातदेखील सापडतात. त्यांनी इलेक्ट्रॉन्स उपसून बाहेर टाकून (पंपिंग आऊट) श्वसनाची नवीन विशेष पद्धती उत्क्रांत केली आहे. वेगळ्या शब्दांत सांगायचे म्हणजे हे जिवाणू प्रत्यक्ष वीज (इलेक्ट्रिसिटी) तयार करतात. ही ऊर्जा क्षेत्रातील क्रांतीच नव्हे का!

शास्त्रज्ञ आणि जैविक अभियंते याच सूक्ष्मजीवांना वापरून एका सूक्ष्म पॉवर प्लांटच्या साहाय्याने इंधन पेशी (फ्युएल सेल्स) तयार करत आहेत. याचाच वापर करून सांडपाणी स्वच्छ करण्याचे प्रयोग सुरू आहेत. परंतु सूक्ष्मजीवांच्या विद्युतनिर्मिती प्रक्रियेचे उत्पादनप्रक्रियेत रूपांतरण करणे हे खरे आव्हान आहे. मानवी पेशींपेक्षाही अत्यंत सूक्ष्म आकार आणि प्रयोगशाळेत त्यांना वाढवण्यात येणाऱ्या अडचणींवर अद्याप मात करता आलेली नाही.



फ्युएल सेल

पोलरायझेबिलिटी

अमेरिकन शास्त्रज्ञांनी विद्युत श्वसन करणारे जिवाणू जनुक अभियांत्रिकीच्या माध्यमातून शोधून काढले आहेत. हे जिवाणू इलेक्ट्रॉन्स आपल्या पेशीच्या बाहेर टाकू शकतात. ते काही प्रवाही रचना असलेली विशेष प्रथिने वापरून सभोवतालच्या पदार्थांमधून इलेक्ट्रॉन्स ओढून घेऊ शकतात आणि पेशीत साठवू शकतात. अशी जैविक विद्युत ही संवेदक, सांडपाण्यावर संस्कार आणि कमी शक्ती लागणारी यंत्रे यासाठी संजीवनी ठरू शकते.

यासाठी अमेरिकेच्या एमआयटीमधील अभियंत्यांनी 'मायक्रोफ्लुइडिक' नावाचे तंत्र शोधून काढले आहे. जिवाणूंच्या छोट्याशा नमुन्यावर हे तंत्र ताबडतोब प्रक्रिया करते आणि त्या जिवाणूची वीज निर्माण करण्याची क्षमता मोजता येते. या जिवाणूच्या गुणधर्माला त्यांनी 'पोलराइझेबिलिटी' (Polarizability) असे म्हटले आहे. विद्युतप्रवाह मोजमाप तंत्रापेक्षा पोलराइझेबिलिटी या तंत्राने जिवाणूची इलेक्ट्रोकेमिकल क्रियाशीलता सुरक्षित पद्धतीने आणि कार्यक्षमतेने मोजता येते.

एमआयटीच्या मेकॅनिकल अभियांत्रिकी विभागाचे कीआंन्रु वांग (Qianru Wang) म्हणतात 'ज्या पेशी आपल्याला हवी तशी जास्तीत जास्त विद्युतनिष्पत्ती देतील अशा पेशींना निवडणे' हेच या प्रयोगाचे उद्दिष्ट आहे. एमआयटीच्या मेकॅनिकल अभियांत्रिकी विभागाचे कुलेन बुए (Cullen Buie) म्हणतात, 'अशा विद्युतनिर्मिती करणाऱ्या जिवाणूंना शोधनीच्या (probe) साहाय्याने शोधून काढणे हे खूप महत्त्वाचे आहे. असा गुणधर्म असलेले खूप जिवाणू असावे अशी माझी खात्री आहे.' 'सायन्स ॲडव्हान्सेस' या संशोधनपत्रिकेत वांग आणि बुए यांनी आपले निष्कर्ष प्रसिद्ध केले आहेत.

जिवाणू इलेक्ट्रॉननिर्मिती करून विद्युतनिर्मिती करतात. नंतर पृष्ठभागावरील प्रथिनांच्या सूक्ष्म वाहिन्यांच्या मार्फत या



कीआंन्नु वांग



कुलेन बुए

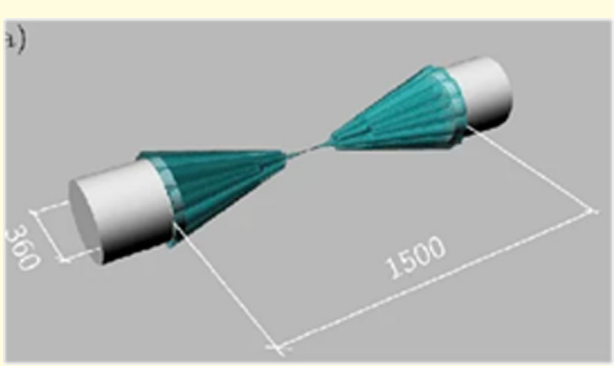
इलेक्ट्रॉन्सचे पेशी पापुद्र्यातून (cell membrane) वहन होते. याला पेशीबाह्य इलेक्ट्रॉन्स हस्तांतरण– EET किंवा (extracellular electron transfer) असे म्हणतात.

मोठ्या प्रमाणात या पेशी वाढवून शोधणीच्या साहाय्याने जिवाणूंचा विद्युत चुंबकीय गुणधर्म EET प्रथिनांची मोजमाप करून शोधला जातो. ही पद्धत खूप वेळ खाऊ आणि बारीकसारिक तपाशीलांबद्दल अतिशय जागरूक राहून केली जाते. दुसऱ्या एका तंत्रात ती प्रथिने शुद्ध स्वरूपात मिळवण्यासाठी त्या पेशी फोडल्या जातात. बुए यांनी जिवाणूंचा विद्युत गुणधर्म मोजण्यासाठी जलद गती आणि कमीतकमी विध्वंसक अशी पद्धती वापरण्याचा प्रयत्न केला आहे.

गेल्या दहा वर्षांपासून शास्त्रज्ञांचा हा चमू अतिशय सूक्ष्म वाहिन्या असलेल्या 'मायक्रोफ्लूइडिक चिप्स' तयार करत आहेत. या वाहिन्यातून मायक्रोलीटर जिवाणूच्या नमुन्याचे वहन केले जाते. प्रत्येक वाहिनी ही वाळूच्या घड्याळाच्या आकारासारखी कोरलेली असते. या वाहिन्यांच्या दोन टोकांना विद्युतदाब दिला जातो तेव्हा मध्यभागी दाबलेला भाग हा इतर वाहिन्यांच्या तुलनेने शंभर पट बारीक असल्यामुळे विद्युतक्षेत्रावर पीळ पडतो (puts a squeeze) आणि तो बाजूच्या क्षेत्रावरील विद्युतदाबाच्या शंभर पट बळकट असतो. अंतराच्या सापेक्ष विद्युतक्षेत्राच्या तीव्रतेत होणाऱ्या बदलामुळे (इलेक्ट्रिक फील्डचा ग्रेडियंट) डायइलेक्ट्रोफोरेसिस (dielectrophoresis) घडते. म्हणजे विद्युतक्षेत्रामुळे निर्माण झालेल्या गतीच्या विरुद्ध निर्माण होणाऱ्या दाबामुळे जिवाणूपेशी ढकलल्या जातात. डायइलेक्ट्रोफोरेसिसमुळे तो जिवाणू मागे लोटला जातो किंवा त्याच्या पृष्ठीय गुणधर्मानुसार तो विविध विद्युतदाबाला थांबवला जातो.

मुळात निरनिराळे जिवाणू वेगळे करण्यासाठी डायइलेक्ट्रोफोरेसिस हे तंत्र वापरले आहे. हे तंत्र बेडूक हा पक्षांपासून वेगळा करण्यासाठी वापरले जाते, पण आम्ही या तंत्राचा वापर बेडकांचीच भावंडे वेगळी करण्यासाठी वापरले आहे. सूक्ष्म फरक जाणून घेण्यासाठी! असे वांग म्हणतात.

त्यांच्या नवीन अभ्यासात संशोधकांनी जिवाणूच्या विविध इलेक्ट्रोमॅग्नाटिक गुणधर्मानुसार विविध प्रजातींची तुलना करण्यासाठी मायक्रोफ्लूइडिक तंत्र वापरलेले आहे. यात मायक्रोबियल फ्युएल सेलमध्ये विद्युतनिर्मिती करणाऱ्या जिवाणूंच्या नैसर्गिक प्रजाती (wild-type) आहेत, तसेच जनुकीय बादल केलेल्या प्रजाती (genetically engineered)



सूक्ष्म वाहिन्या असलेल्या मायक्रोफ्लूइडिक चिप्स



यांचादेखील समावेश आहे. हे करण्याचा मुख्य उद्देश जिवाणूची विद्युतनिर्मिती करण्याची क्षमता आणि मायक्रोफ्लूइडिक यंत्रात डायइलेक्ट्रोफोरेटिक दाबाखाली तो जिवाणू कसे वागतो यातील संबंध प्रस्थापित करणे असा आहे.

वाळूच्या घड्याळाच्या आकाराच्या मायक्रोफ्लूइडिक वाहिन्यांमधून प्रत्येक जिवाणूचा अत्यंत सूक्ष्म असा मायक्रोलिटर नमुना सोडला असता हळूहळू वाहिन्यांमधील व्होल्टेज वाढवले गेले. १ व्होल्ट/सेकंद ते ८० व्होल्ट/सेकंद. पार्टिकल इमेज व्हेलॉसिमीटर या प्रतिमा तंत्राने त्या वाहिन्यांमध्ये जिवाणूपेशींनी निर्माण केलेले विद्युतक्षेत्र मोजले गेले. हळूहळू मध्यभागी दाबलेल्या भागात (pinched section) ज्या ठिकाणी प्रभावी विद्युतक्षेत्र असते तेथे डायइलेक्ट्रोफोरेसिसमुळे जिवाणू मागे रेटले जातात आणि त्या क्षेत्रात अडकतात. काही जिवाणू कमी विद्युतदाब क्षेत्रात तर काही जिवाणू उच्च विद्युतदाब क्षेत्रात अडकतात. वांग यांनी प्रत्येक जिवाणू पेशी किती दाबाला अडकवली गेली आहे ते बघून त्या पेशींचे आकार मोजले आणि संगणकीय सिम्युलेशन तंत्राने त्या पेशींची पोलरायझेबिलिटी मोजली. वांग यांनी त्याचे गणित मांडले. जास्ती पोलरायझेबिलिटी असलेले जिवाणू हे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिकली जास्त कार्यक्षम होते. असा परस्पर संबंध त्यांना प्रत्येक पेशीत आढळून आला.

वांग म्हणतात काही जिवाणूच्या प्रजातींसाठी त्यांची विद्युतनिर्मितीक्षमता ही पोलरायझेबिलिटी मोजून ठरवता येते. मायक्रोफ्लूइडिक तंत्र वापरून आपल्याला सहजगत्या त्या जिवाणूची कार्यक्षमता तपासता येते.

हे संशोधन राष्ट्रीय विज्ञान संस्था आणि इन्स्टिट्यूट फॉर कोलॅबोरेटिव्ह बायोटेक्नॉलॉजी, यूएस आर्मी यांनी पुरस्कृत केले होते.

ज्वालामुखीतील परमसीमाजीवी जिवाणू : (Extremophile)

ब्रिटिश संशोधकांनी विशेष जैवरासायनिक प्रक्रियेद्वारा विद्युतनिर्मिती करणारे ज्वालामुखीतील (व्होल्कॅनिक) जिवाणू शोधून काढले आहेत. ज्वालामुखीतील परमसीमाजीवी (Extremophile) जिवाणू हे ज्वालामुखीत विशेष जैवरासायनिक प्रक्रियेद्वारा अस्तित्व राखून असतात. साऊथअॅम्प्टोन विद्यापीठात ब्रिटिश शास्त्रज्ञांनी थर्मोडीसल्फोबॅक्टेरियम ही प्रजाती ज्वालामुखीतून शोधून काढली आहे. हे जिवाणू उकळत्या आम्लधर्मीय वातावरणात विशेष क्षपण (रिडॉक्स) अभिक्रियेने विद्युतनिर्मिती करतात. जिवाणूंची ही इलेक्ट्रॉन्स हस्तांतरणाची यंत्रणा इंधन पेशी म्हणून आणि शाश्वत ऊर्जास्रोत म्हणून क्रांतिकारी ठरू शकते. ज्वालामुखीतील जिवाणूंसाठी सल्फाइडस किंवा धातू यांसारखी असेंद्रिय संयुगे ही इलेक्ट्रॉन्स हस्तांतरणाच्या माध्यमातून ऊर्जेचे स्रोत बनतात. यात जिवाणू हे इलेक्ट्रॉन्स बाहेर टाकतात आणि ते पेशीयंत्रणेतून प्रवास करत असताना विद्युतविभव (इलेक्ट्रॉन्स पोटेनशियल) निर्माण करतात. शास्त्रज्ञांनी हे शोधून काढले आहे की या प्रक्रियेसाठी विशेष झलारिका (Pilli) या अंगिका कार्यरत असतात. त्यामुळे या ठिकाणी जिवंत जिवाणू हे विद्युतघटासारखे (बॅटरी) काम करतात. ज्वालामुखीतील जिवाणूंची ऊर्जानिर्मिती क्षमता ही इतर जिवाणूऊर्जा पेशींपेक्षा प्रती पेशी दहा पट जास्त ऊर्जानिर्मिती करते. उच्च तापमान, अती आम्ल वातावरण आणि जगण्यासाठी प्रतिकूल परिस्थिती अशा पर्यावरणात हे जिवाणू वास्तव्य करत असल्यामुळे औद्योगिक सांडपाण्यावर प्रक्रिया करण्यासाठी हे जिवाणू उपयुक्त ठरतील.

बायोरेमीडिएशन : सांडपाणी प्रक्रिया, जड धातूंनी प्रदूषित पाणी या जीवणूंच्या फ्युएल सेलमधून जाऊ दिले तर जिवाणू त्या धातूमधून इलेक्ट्रॉन्स बाहेर काढतात व शुद्धीकरण प्रक्रियेबरोबरच विद्युतनिर्मिती करतात. ही पद्धती भविष्यात खाणकाम आणि इलेक्ट्रोप्लेटिंग तंत्रज्ञानात



वापरली जाण्याची शक्यता आहे. समुद्रात अतिखोलवर हायड्रोथर्मल व्हेण्टमधून मायक्रोबियल फ्युएल सेल हार्वेस्टिंग करण्याचे तंत्र विकसित केले जात आहे. अवकाश तंत्रज्ञानात मंगळावर विद्युतनिर्मिती भविष्यात होऊ शकेल.

इलेक्ट्रिक जिओबॅक्टेरिया

डॉ. जेम्मा रेगुएरा (Gemma Reguera) यांनी जिओबॅक्टेरिया या इलेक्ट्रिक जिवाणूवर केलेले संशोधन वाखाणण्यासारखे आहे. ऱ्होडोस्पिरिलम रुब्रम (Rhodospirillum rubrum), मायकोबॅक्टेरियम सेमेगमॅटिस (Mycobacterium semegmatis) आणि शेवानेल्ला ओनीडेंसिस (Shevanella oneidensis) या तीन जिवाणूंवर त्यांनी संशोधन केले आहे.



माणूस श्वसनक्रियेदरम्यान इलेक्ट्रॉन्स ऑक्सिजनला हस्तांतरित करतो. जिओबॅक्टेरिया मात्र श्वसनक्रियेदरम्यान इलेक्ट्रॉन्स मिनरलना हस्तांतरित करतो हा मूलभूत फरक लक्षात घ्यायला हवा. जेम्मा यांनी त्या पेशींना 'ॲसिटेट' चयापचयासाठी दिले. त्यातून तयार झालेले टाकाऊ पदार्थ वेळोवेळी बाहेर काढावे लागतात तरच त्यांना नवीन खाद्य पुरवता येते. या ठिकाणी हे इलेक्ट्रॉन्स म्हणजे प्रत्यक्षात टाकाऊ पदार्थ असतो.

जिओबॅक्टेरिया हे इलेक्ट्रॉनिक टाकाऊ पदार्थ बाहेर कसे टाकतात?

हे इलेक्ट्रॉन्स वाहक धाग्यांच्या साहाय्याने बाहेर काढले जातात. ही झलारिकांसारखी पेशीअंगके असतात. ती आकुंचन आणि प्रसरण पावतात. हे लहान लहान शेपटीसारखे धागे गतिशील असतात. हे धागे सतत थरथरत असतात. ते पेशीला सतत खनिजपदार्थांच्या भोवती गुंडाळून ठेवतात आणि यातूनच इलेक्ट्रॉन्स सतत बाहेर टाकले जातात. हे बाहेर टाकलेले इलेक्ट्रॉन्स खनिजपदार्थांना विरघळवतात. यातून लोखंड हा धातू वेगळा केला जातो आणि इतर जिवाणूंना उपलब्ध करून दिला जातो. या अतिशय मूलभूत प्रक्रियेद्वारा हे धातू इतर जिवाणूंना, वनस्पतींना आणि प्राण्यांना उपलब्ध करून दिले जातात. म्हणजे हे जिओबॅक्टेरिया विद्युतप्रवाहावर जगतात.

या जिवाणूंना विद्युतप्रवाह देऊन हीच रासायनिक क्रिया उलट्या दिशेने (Reverse the reaction) घडवून रसायने तयार करू शकते किंवा कार्बन डायऑक्साइडचे स्थिरीकरण करू शकते.

मायक्रोबियल फ्युएल सेल्सची (MFCs) उर्जाशक्तीची उत्पादकता खूप कमी असते. यात वाढ करणे किंवा मोठ्या पातळीवर नेणे कठीण आहे. या प्रक्रियेत पेशीपटल हा वारंवार चोंदतो (Clog) त्यामुळे यातील इलेक्ट्रॉन्स हस्तांतरणप्रक्रिया ही फार मंद गती असते.

जिवाणूंची जिवंत सर्किट असलेले संगणक!

जिवंत जिवाणूंना सर्किट (विद्युतप्रवाहमार्ग) बोर्डमध्ये रूपांतरित करून ते संगणकासारखी आकडेमोड करू शकतील का? मुळात संगणक कसे काम करतो? वायरमध्ये इलेक्ट्रॉन्स हे वोल्टेजच्या साहाय्याने सर्किटच्या माध्यमातून पुढे ढकलले जातात. एमआयटीमधील शास्त्रज्ञांनी हाच तर्क वापरून जिवंत जिवाणूंच्या स्वरूपात ट्रान्सिस्टर बनवला आहे. ख्रिस्तोफर वोइज्ट (Christopher Voigt) हे एमयटीच्या बायॉलॉजिकल इंजिनीअरिंग विभागाचे प्रमुख आहेत. यांनी जनुकीय उत्परिवर्तनातून असा जिवाणू

बनवला आहे की जो ट्रान्सिस्टरसारखा काम करतो. ट्रान्सिस्टर हा अत्यंत मूलभूत असा प्रत्येक संगणकातील स्विचिंग कॉम्पोनंट आहे. जिवाणूंच्या वसाहती असलेल्या पेट्री प्लेटवर 'अचूक प्रिंट' केल्यास या जिवाणूंच्या वसाहती 'जिवंत सर्किट बोर्ड'चे काम करतात. 'अचूक प्रिंटिंग' हे एक साधन आहे ज्याच्या साहाय्याने जिवाणू हे पेट्री प्लेटवर जेलमध्ये नेमक्या बिंदूवर ठेवले जातात. या ठिकाणी पारंपरिक पद्धतीने विद्युतवहन होत नाही, पण रासायनिक संदेश मिळतात.

जिवाणू हा स्विचसारखा कसे काम करतो?

पारंपरिक विद्युत सर्किटमध्ये ट्रान्सिस्टर हा स्विचची भूमिका बाजवतो. विद्युतवहन व्हावे की नाही हे ट्रान्सिस्टर ठरवतो. Pantoea agglomerans या जिवाणूंच्या साहाय्याने एमआयटीच्या शास्त्रज्ञांनी हेच कार्य रासायनिक संदेशाच्या साहाय्याने शक्य करून दाखवले आहे. हा जिवाणू नैसर्गिकरीत्या झाडाच्या पानाच्या आणि मुळाच्या पृष्ठभागावर वाढतो. शास्त्रज्ञांनी असे दोन 'जिवाणू ट्रान्सिस्टर्स' इंजिनीयर केले आहेत. यात माहितीचे नियंत्रण, प्रक्रिया आणि हस्तांतरण करण्यासाठी "OC6' , "OC 12' आणि "OHC 14' हे रेणू विशिष्ट रासायनिक संदेशरेणू म्हणून कार्य करतात, विद्युतसंदेश म्हणून नव्हे.

"OC6' हा रेणू इनपुट स्विच म्हणून काम करतो. एक "OC6' रेणू जिवाणू ट्रंसिस्टर स्विच ऑन करतो आणि दुसरा स्विच ऑफ करतो. (OC6: Acts as the control input or switch. It turns the bacterial transistor on or off.)

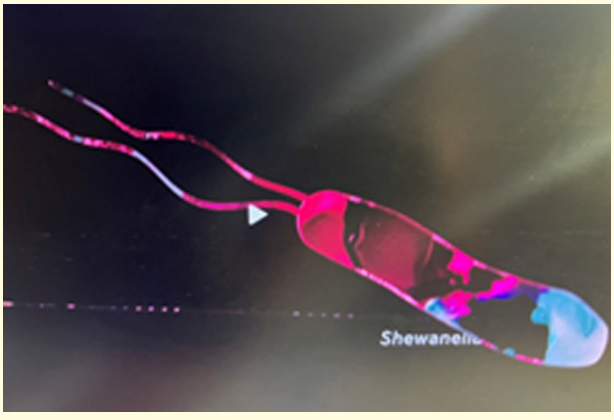
प्रत्येक ट्रान्सिस्टर एका दुसऱ्या रेणूला म्हणजे "OC 12' ला प्रतिसाद देतो जो संदेशाला प्रोसेस करतो. "OC 12' हा येणारा डेटा सिग्नल ट्रंसिस्टरद्वारा प्रोसेस करतो. अशा रीतीने या प्रक्रियेचा दुसरा भाग कार्यान्वित होतो आणि रासायनिक संदेश पुढे सरकतो. (OC 12 : Acts as the incoming data signal being processed by the transistor. The cell evaluates whether OC 12 is present based on the state of the OC6 switch.)

'रिले' पद्धतीने वायरिंग केले जाते. या दोन जिवाणूंबरोबरच शास्त्रज्ञांनी एका तिसऱ्या जिवाणूची प्रजाती (स्ट्रेन) रिले म्हणून वापरली. हा तिसरा जिवाणू ट्रान्सिस्टरकडून आऊटपुट मिळालेला 'OHC 14' हा रेणू ग्रहण करतो आणि पुढच्या जिवाणूला हस्तांतरित करतो. (OHC14 : Acts as the output signal produced by the transistor when activated. Additional engineered bacterial strains act as relays to translate OHC14 so it can trigger the next



मायकोबॅक्टेरियम सेमेगमॅटिस

लहान लहान शेपटीसारखे धागे गतिशील असतात



शेवानेल्ला ओनीडेंसिस



ऱ्होडोस्पिरिलम रुब्रम

transistor in the chain.) आणि अशा रीतीने पेट्री प्लेट वरील जिवाणूंच्या वसाहती एखाद्या वायरसारखे रासायनिक संदेशाचे वहन करतात.

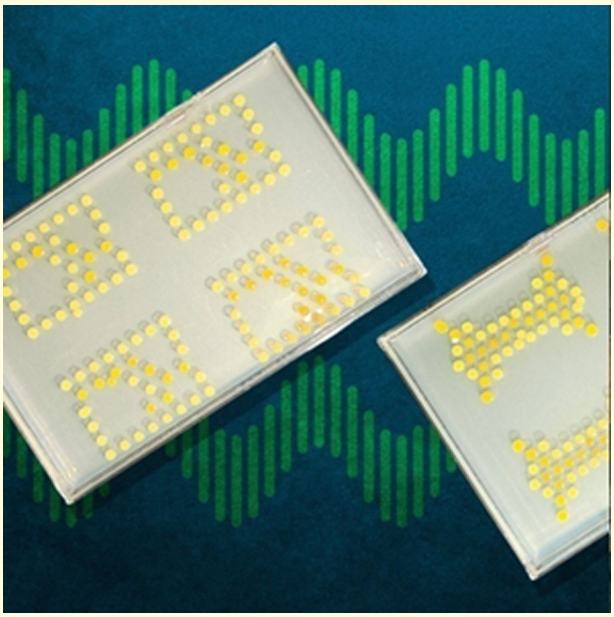
ट्रान्सिस्टर्स आणि त्याच्या शेजारचा रिले हे फक्त पाच मिलीमीटर अंतर प्रिंट करू शकत असल्यामुळे फक्त जिवाणूंच्या दोन वसाहतीपर्यंत हे संदेशवहन होऊ शकते. एका वसाहतीकडून दुसऱ्या वसाहतीकडे अशा प्रकारे माहितीचे फक्त एकाच दिशेने वहन होते. ते फक्त दोन ट्रान्सिस्टर्स आणि तीन रिले इतक्या अंतराचे सर्किट तयार करू शकले. हमीद दुस्थोसैनी (Hamid Doosthosse ini) हे एमआयटीचे पोस्ट डॉक्टरल फेलो आहेत. यांनी या संशोधन गटाचे नेतृत्व केले होते. 'नेचर केमिकल बायॉलॉजी'मध्ये ते म्हणतात 'आम्ही संगणकाच्या काही अत्यावश्यक प्राथमिक रचना तयार करू शकलो. परंतु या पाच जिवाणूंच्या प्रजातींपासून आम्ही काहींनाच कार्यरत करू शकलो आहोत.'

तयार केलेली काही सर्किट

अनेक तार्किक प्रक्रिया जशा की OR, Imply गेट तसेच दोन किंवा तीन इनपूट एकत्रित करणे यासारख्या जटिल प्रक्रियादेखील साध्य झाल्या आहेत. विशेष म्हणजे Demultiplexerसारखी सर्किट म्हणजे ज्यात येणारा संदेश एकच असतो पण तो नियंत्रित आऊटपटनुसार अनेक गंतव्यस्थानांपर्यंत (Destinations) पोहोचवता येतो. आतापर्यंत सर्वात मोठे सर्किट जे बनवले गेले आहे ते दोन इनपूट एकत्रित वापरून आणि चोवीस जिवाणू वसाहती वापरून तयार केले आहे. ख्रिस्तोफर वोइज्ट म्हणतात की तुमच्या आय-फोनमधली सगळी प्रक्रिया या जिवाणू सर्किटच्या साहाय्याने करता येणे शक्य आहे. अर्थात याचा अर्थ असा आहे की आय-फोनच्या इतका वेग शक्य नाही पण क्षमता मात्र नक्की आहे. तो म्हणतो, 'आम्ही संगणकप्रणालीला बायॉलॉजी हा पर्याय म्हणून शोधत नसून संगणकीय नियंत्रण बायॉलॉजीमध्ये स्थापित करण्याचा प्रयत्न करीत आहोत.'

याची उपयोजिता काय?

शेतकी क्षेत्रात याची उपयोजिता प्रयोगशाळेत नसून प्रत्यक्ष शेतावर आहे. झाडाची पाने किंवा मुळे यावर जर सर्किट जिवाणूंचा लेप दिला तर त्या झाडाला दुष्काळ किंवा रोगजंतूंच्या अस्तित्वाची स्वयंसंवेदना आणि प्रतिसाद क्षमता प्राप्त होईल. सर्किटने एखाद्या ताण देणाऱ्या परिस्थितीची संवेदना जाणली की ते झाड आपोआपच बुरशीरोधक किंवा रोगकारक जिवाणूरोधक पदार्थ बाहेर टाकण्यास सुरुवात करेल आणि झाडाचे संरक्षण होईल.



संगणकीय प्रक्रिया करणारे जिवंत जीवाणूंचे सर्किटबोर्ड्स

या प्रकल्पाला अमेरिकन डिफेन्स ॲडव्हान्स्ड रिसर्च प्रोजेक्टस एजन्सी आणि अमेरिकन इंटेलिजन्स ॲडव्हान्स्ड रिसर्च प्रोजेक्टस ॲक्टिव्हिटी यांनी अर्थसाहाय्य केले आहे.

संदर्भ

1. How a bacterium becomes a switch

http://timesofindia.indiatimes.com/articleshow133398156.cms?utmšsource=contentofinterestutmšmedium=textutmšcampaign=cppst 21 Aug. 2026.

2. University of Southampton, Applied Energy 2025.

3. National Science Institute , Institute for collaborative Biotechnology , U S -rmy.

You tube : Science Communication Lab. 2 Nov. 2023.

– डॉ. रंजन गर्गे
ranjan.garge@gmail.com



जागतिक पोलिओ दिवस

डॉ. संगीता गोडबोले

दरवर्षी २४ ऑक्टोबर जागतिक पोलिओदिन (World Polio Day) म्हणून जगभरात साजरा केला जातो. २४ ऑक्टोबर हा दिवस निवडण्यामागे मोठे कारण म्हणजे, पोलिओची पहिली प्रभावी लस (Inactivated Poliovirus Vaccine - IPV) शोधणारे प्रसिद्ध वैद्यकीय संशोधक डॉ. जोनास साल्क (Dr. Jonas Salk) यांचा हा जन्मदिवस.

२०२६ची जागतिक पोलिओदिनाची अधिकृत मुख्य संकल्पना Unite for a Polio-Free World (पोलिओमुक्त जगासाठी एकत्र संघटित व्हा) ही आहे.

या संकल्पनेद्वारे जगभरातून पोलिओ पूर्णपणे नष्ट करण्यासाठी सामूहिक प्रयत्न आणि जनजागृती करण्यावर भर दिला जातो.

जागतिक पोलिओदिनाची स्थापना 'रोटरी इंटरनॅशनल'द्वारे करण्यात आली.

'वर्ल्ड हेल्थ असेंब्ली'ने १९८८ मध्ये पोलिओ विषाणूचे उच्चाटन करण्याचा संकल्प सोडला. तेव्हापासून पोलिओ निर्मूलनाचे महत्त्व सांगण्यासाठी आणि फ्रंटलाइनवरील आरोग्य कर्मचाऱ्यांचे व स्वयंसेवकांचे आभार मानण्यासाठी हा दिवस पाळला जातो.

ज्या रोगाच्या प्रतिबंधासाठी लस उपलब्ध आहे आणि ज्या रोगावर प्रतिबंध हा एकच उपाय आहे असा संसर्गजन्य, शारीरिक अपंगत्वाबरोबरच प्रसंगी प्राणघातक ठरणारा पोलिओमायलाइटिस किंवा सामान्यतः ज्याला पोलिओ म्हटले जाते असा पोलिओ हा विषाणूजन्य रोग.

पोलियोमायलिटिस या शब्दाची व्युत्पत्ती ग्रीक भाषेमधील पोलियो म्हणजे ग्रे अथवा भुरा, मायलॉन म्हणजे मज्जारज्जू, तर –आयटिस म्हणजे सूज या शब्दांपासून झाली आहे. पोलियोच्या उपसर्गाच्या ९० टक्के घटनांमध्ये अनेकदा काहीच लक्षणे आढळून येत नाहीत, परंतु या विषाणूंनी रक्तप्रवाहामध्ये प्रवेश केला तर ती व्यक्ती पोलिओ या आजाराची लक्षणे दाखवू लागते. पोलियो रुग्णांमध्ये बऱ्याच वेगवेगळ्या प्रकारची लक्षणे दिसून येतात.

एक टक्क्याहून कमी रुग्णांच्या बाबतीत हा विषाणू मध्यवर्ती मज्जासंस्थेमध्ये प्रवेश करतो व शरीरातील स्नायूंच्या हालचालीस कारणीभूत असणाऱ्या 'गतिप्रेरक न्यूरॉनना' अपाय करतो ज्याचे पर्यवसान स्नायू दुर्बल होण्यामध्ये व शेवटी पक्षाघातामध्ये होते.

इतिहास

पोलिओच्या परिणामांविषयीचे ज्ञान आदिमानवाच्या काळापासून अस्तित्वात आहे असे आढळून येते. पुरावा म्हटले तर इजिप्शियन कलाकृतींमध्ये पोलिओचे अवशेष सापडतात.

मायकेल अंडरवूड यांनी १७८९ मध्ये पोलिओ या आजाराचे पहिले वर्णन केले. कालांतराने त्याचे Infantile Paralysis असे नामकरणही करण्यात आले.

विसाव्या शतकाच्या आधी पोलिओ आजार सहा महिन्यांहून कमी वयाच्या मुलांना क्वचितच होत असे. कारण त्याकाळी लोकांचे राहणीमान मुळातच सर्वसामान्य होते. सततच पोलिओच्या विषाणूंशी सतत थोड्या प्रमाणात संपर्क येत असल्याने लोकांची रोगप्रतिकारशक्ती चांगली होती. परंतु विसाव्या शतकानंतर राहणीमान सुधारले आणि त्याबरोबरच पोलिओ विषाणूंशी संपर्क कमी होऊन त्याविरुद्ध तयार होणारी प्रतिकारशक्ती कमी होऊ लागली आणि अगदी लहान मुलांनादेखील पोलिओ रोग होऊ लागला.

युरोप व अमेरिकेमध्ये विसाव्या शतकाच्या सुरुवातीला छोट्या प्रमाणात पोलिओची साथ आली होती.

१९५०पर्यंत पोलिओने आपल्या साठीचे शिखर गाठले आणि पोलिओने मृत्यू होण्याचे प्रमाणही वाढले.

Itensive Care Medicineची सुरुवात ही पोलिओ विरुद्ध चाललेल्या लढ्यातच झाली. पोलिओ रुग्णांना मदत करण्यासाठी ज्या मोहिमा काढण्यात आल्या त्या मोहिमा जगात पहिल्या मदतकार्य असणाऱ्या ठरल्या. जे रुग्ण

पोलिओमधून वाचले त्यांचे अवघे आयुष्य बदलून गेले. त्यांच्या यशामागे पोलिओच खूप मोठा वाटा आहे. पोलिओ ही १९६०च्या दशकातली सर्वात मोठी गोष्ट बनली व त्यामुळे पोलिओवर काम करणाऱ्या शास्त्रज्ञांना सर्वोत्तम मानाचे स्थान मिळू लागले.

पोलिओबद्दल माहिती घेऊ या.

पोलिओ म्हणजे Poliomyelitis. हा एक विषाणूजन्य संसर्गजन्य आजार आहे.

१. कशामुळे होतो?

- पोलिओ व्हायरस हा Picornaviridae फॅमिलीतील Enterovirus आहे. हा फक्त माणसांमध्येच होतो. तो आतड्यांमध्ये वाढतो आणि तिथून रक्तातून नर्व्हस सिस्टमवर हल्ला करतो.
- याचे ३ प्रकार आहेत – Type 1, 2, 3
- हा विषाणू दूषित पाणी, अन्न आणि मलावाटे पसरतो. लहान मुलांमध्ये जास्त आढळतो.
  Type 1 ब्रूनहिल्ड .. सगळ्यात धोकादायक, ८५% Paralysis याच्यामुळे होतो.
- Type 2 (Lansing) : भारतातून आणि जगातून पूर्ण नष्ट झाला आहे (२०१५ ला Eradicate घोषित).
- Type 3 (Leon) : जवळपास नष्ट होण्याच्या मार्गावर.

२. पोलिओचे प्रकार (लक्षणांनुसार)

A) Abortive Polio (९०% केसेस) : २–३ दिवस सौम्य ताप, घसादुखी, मग आपोआप बरा होतो. कळतही नाही पोलिओ होता.

B) Non-Paralytic/Aseptic Meningitis (४–८%): ताप + मान ताठ होणे + डोकेदुखी. मेंदूच्या आवरणाला सूज येते, पण लकवा येत नाही.

C) Paralytic Polio (१% पेक्षा कमी पण सगळ्यात गंभीर) :

- व्हायरस स्पायनल कॉर्डमधील मोटर न्युरॉन नष्ट करतो.
- अचानक एका पायात लकवा येतो, मग दुसऱ्या पायात. हातातही येऊ शकतो.
- Bulbar Polio : गिळणे, बोलणे, श्वास घेण्याच्या स्नायूंवर परिणाम, यात मृत्यूचा धोका २५–७५टक्के असतो.
- एकदा लकवा आला तर तो कायमचा राहतो. पोस्ट–पोलिओ सिंड्रोम (Post-Polio Syndrome - PPS) ही पूर्वी पोलिओ झाला असलेल्या लोकांना, पोलिओमधून पूर्ण बरे झाल्यानंतर बऱ्याच वर्षांनी (साधारणपणे १५ ते ४० वर्षांनंतर) जाणवणारी एक नवी शारीरिक समस्या असून हा पोलिओ विषाणूचा पुन्हा झालेला संसर्ग नसतो.

२. लक्षणे

- ९०% लोकांमध्ये कोणतीच लक्षणे दिसत नाहीत.
- सुरुवातीची लक्षणे – ताप, घसादुखी, डोकेदुखी, उलट्या, थकवा, मान ताठ होणे.
- गंभीर झाल्यास – हाता–पायांमध्ये कायमचे लकवा (Paralysis), श्वास घेण्यास त्रास. याला Paralytic Polio म्हणतात. १००० पैकी १ मुलामध्ये हे होते.

३. पसरण्याचा मार्ग

संक्रमित व्यक्तीच्या शौचातून विषाणू बाहेर पडतो आणि पाणी/अन्न दूषित करतो.

- पोलिओचे निदान कसे करतात?
- स्टूल सॅम्पल टेस्ट – विषाणू ओळखण्यासाठी रुग्णाच्या मल किंवा शौचाची तपासणी
- थ्रोट स्वॅब घशातील स्रावांची तपासणी
- CSF म्हणजे मस्तिष्कमेरू द्रव किंवा मेंदू व पाठीच्या कण्यातील द्रव तपासणी
- भारतात प्रत्येक Acute Flaccid Paralysis (AFP) केसची सरकारकडे नोंद करावी लागते.

४. उपचार आहे का?

पोलिओवर कोणताही इलाज नाही. एकदा लकवा आला तर तो कायमचा राहतो. फक्त फिजिओथेरपी आणि सपोर्टिव्ह केअर करता येते.

५. प्रतिबंध हाच खरा उपाय : आणि त्याकरिता लसीकरण हाच एकमेव उपाय आहे.

हजारो वर्षे पोलिओ आजारसक्रिय परंतु स्थिर अवस्थेत अस्तित्वात होता. १८८० नंतर पोलिओच्या साथींचे युरोपमध्ये मोठे उद्रेक होऊ लागले आणि नंतर लगेचच अमेरिकेत पोलिओच्या साथीचा प्रसार झाला.

१९१०पर्यंत जगात पोलिओचा मोठ्या प्रमाणात प्रसार झाला होता आणि त्याच्या साथींचा उद्रेक ही घटना वारंवार होऊ लागली. या साथींमुळे हजारो मुले आणि प्रौढ व्यक्ती अपंग झाल्या व यामुळे हा आजार रोखण्याकरता पोलिओवर लस शोधली तर परिणामकारक ठरू शकेल असे वाटल्याने लस शोधण्यासाठी मोठ्या प्रमाणात प्रयत्न सुरू झाले.

पोलिओच्या लसी विकसित करण्याचे श्रेय जोनस साल्क (१९५५) व अल्बर्ट सेबिन (१९५८) यांच्याकडे जाते. यांच्या दोघांच्या प्रयत्नांमुळे पोलिओच्या रुग्णांची संख्या प्रतिवर्षी कमी होत जाऊन अनेक लाखांवरून काही

हजारांवर आली. जागतिक आरोग्य संघटना (WHO), युनिसेफ व रोटरी इंटरनॅशनल या संस्थांच्या पोलिओ निर्मूलनाच्या प्रकल्पांमुळे पोलिओचे जगातून लवकरच संपूर्ण उच्चाटन होईल अशी आशा निर्माण झाली आहे. त्याविषयीच्या अभ्यासातून असे आढळून आले आहे, की सन २०००मध्ये प्रशांत महासागराच्या पश्चिमेकडील चीन आणि ऑस्ट्रेलिया मिळून इतर ३६ देशांमध्ये पोलिओचे निर्मूलन झाले.

सन २००२मध्ये युरोप पोलिओमुक्त जाहीर करण्यात आला. २००६ नंतर पोलिओच्या साथींचे उद्रेक फक्त भारत, पाकिस्तान, नायजेरिया व अफगाणिस्तान या चार देशांमध्येच आढळून येत होते. १९९५ साली भारतात सरकारने सुरू केलेल्या 'पल्स पोलिओ' योजनेमुळे भारत देश पूर्णपणे पोलिओमुक्त होऊ शकला.

२७ मार्च २०१४ रोजी जागतिक आरोग्य संघटनाद्वारे (WHO) भारत देशाला १०० प्रतिशत पोलिओमुक्त म्हणून जाहीर करण्यात आले.

लसीचे प्रकार

- OPV – तोंडावाटे देण्याची लस : २ थेंब. सरकारी दवाखान्यात मोफत मिळते.
- IPV – इंजेक्शनची लस : आता सरकारी लसीकरणात समाविष्ट आहे.

पोलिओच्या विषाणूचे (व्हायरस) तीनही प्रकारचे जिवाणू हे 'आरएनए' वर्गीय असून, त्यांची नावे ब्रुनहिल्ड, लॅन्सिंग आणि लिऑन अशी आहेत. ब्रुनहिल्डमुळे अर्धांगवायू होतो. लॅन्सिंग आणि लिऑन मज्जारज्जूच्या पेशींवर हल्ला करतात. त्यामुळे हातांपायांतील शक्ती जाऊन अपंगत्व येते. तिन्ही विषाणू फक्त मानवाला घातक आहेत. प्राण्यांना पोलिओ (आणि देवीच्या) विषाणूंचा काही त्रास होत नाही. फ्रँकलिन रुझव्हेल्ट हे १९३३ ते १९४५ सालापर्यंत अमेरिकेचे अध्यक्ष असताना त्यांनी पोलिओच्या संशोधनासाठी प्रोत्साहन देऊन निधी उपलब्ध करून दिला. ते स्वतःच पोलिओग्रस्त होते आणि तेथे त्याकाळी पोलिओग्रस्तांचे प्रमाण खूप होते. पिटसबर्ग युनिव्हर्सिटीचे प्रो. जोनास सॉल्क यांनी १९५१मध्ये पोलिओचे विषाणू शोधले आणि त्यांच्यापासून लस तयार केली. त्यांच्या लशीमध्ये पूर्णतः निष्प्रभ विषाणू होते. अल्बर्ट सॅबिन यांनीही न्यू यॉर्क युनिव्हर्सिटीमध्ये १९६१मध्ये पोलिओची लस तयार केली. त्यामध्ये तिन्ही प्रकारचे, पण अर्धवट विकलांग, क्षीण विषाणू होते. ही लस टोचावी लागत नव्हती. ती चवीला गोड होती. तिचे दोन थेंब तोंडाने घ्यायचे होते. त्यासाठी डॉक्टरांची उपस्थिती गरजेची नव्हती.

जगात पोलिओनिर्मूलनासाठी दोन महत्त्वाच्या लसीकरण पद्धती वापरल्या जातात. पहिली पद्धत जोन्स साल्क यांनी १९५२ साली यशस्वीरीत्या शोधून काढली. या पद्धतीत लस म्हणजे मेलेल्या जिवाणूंचा संच वापरला गेला. हे जिवाणू शरीरात स्नायूंमार्फत टोचून दिले जात. पुढे, अल्बर्ट सबिन यांनी मुखामार्गे लसीकरणाची पद्धत शोधून काढली.

पोलिओचे जिवाणू कोणत्याही प्राण्याच्या शरीरामध्ये फार वेळ राहू शकत नाहीत कारण त्या प्राण्याची रोग प्रतिकारशक्ती त्या पोलिओ विषाणूंना पळवून लावते व त्यामुळे पोलिओचे कायमस्वरूपी निश्चित असे वाहक निसर्गात नाहीत. या गोष्टीमुळे आपल्या हे लक्षात आले की मनुष्यांतर्गत पोलिओ विषाणूंचा होणारा प्रसार रोखणे ही जागतिक पोलिओ निर्मूलनातील सगळ्यात महत्त्वाची गोष्ट आहे. असे केल्यामुळे व या दोन लसीकरण पद्धतींचा अवलंब केल्यामुळे आज जगातील सगळ्या देशांमध्ये पोलिओ रुग्णांची संख्या कमी झालेली आहे. याचा पुरावा हा की गेल्या २० वर्षांमध्ये पोलिओच्या रुग्णांची संख्या ३,५०,००० रुग्णांपासून १५०० रुग्णांपर्यंत खाली आली आहे.

भारतातील प्रशिक्षित स्वयंसेवक बालकांना लसीचे दोन थेंब देत असे. मुख्य म्हणजे या लसीचा प्रभाव जन्मभर टिकणारा आहे. पल्स पोलिओचा डोस द्यायच्या दिवशीच काही बालके रेल्वे आणि बसच्या प्रवासात असत. अशा वेळी स्वयंसेवक गाडीत शिरून चटकन पोलिओच्या लसीचे थेंब बालकांच्या जिभेवर ठेवायचे. एकूण पाच डोस द्यायची योजना होती. त्यात खंड पडू नये, म्हणून उत्साही तरुण स्वयंसेवकांनी मनोभावे या मोहिमेत भाग घेतला.

नवजात शिशूला पोलिओची लस देण्याचे वेळापत्रक

जन्मापासून पहिल्या तीन दिवसांत ओरल पोलिओ लस..

६ आठवडे, १२ आठवडे, आणि १८ आठवडे अशा तीन वेळा ट्रिपल, रोटा व्हायरस लस आणि न्युमोकोकल लस यांच्या सोबत इंजेक्टेबल पोलिओ लस दिली जाते.

९व्या महिन्यात MMR लस देताना पुन्हा पोलिओ दुसरा डोस तोंडाने २ थेंब पाजला जातो.

१८ महिने ते २४ महिने या काळात ट्रिपलच्या बूस्टर डोसबरोबर पुन्हा इंजेक्टेबल पोलिओ

आणि ३.१/२ ते ५ वर्षापर्यंत दिल्या जाणाऱ्या दुसऱ्या ट्रिपल बूस्टर बरोबर इंजेक्टेबल किंवा ओरल पोलिओ

याखेरीज दरवर्षी पाच वर्षाखालील मुलांना पल्स

पोलिओ मोहिमेत ओरल पोलिओचे अधिकचे डोस पाजले जातात.

टाइप २ विषाणूचे पृथ्वीवरून १९९९मध्ये कायमचे उच्चाटन झाले. त्यामुळे २५ एप्रिल २०१६पासून जगात 'टीओपीव्ही'ऐवजी 'बीओपीव्ही' लस देण्यास सुरुवात झाली आहे. याला भारताने 'नॅशनल स्विच डे' म्हटले आहे.. 'टीओपीव्ही' म्हणजे 'ट्रायव्हॅलंट ओरल पोलिओ व्हॅक्सिन'. यामध्ये पोलिओच्या तिन्ही विषाणूंचा समावेश होता. 'बीओपीव्ही'मध्ये टाइप २ (लॅन्सिंग) विषाणू नाही. म्हणून याला 'बायव्हॅलंट पोलिओ व्हॅक्सिन' म्हणतात. 'टीओपीव्ही'ची लस देणे ९ मे २०१६पासून पूर्ण बंद झाले.

पल्स पोलिओची स्ट्रॅटेजी काय होती?

एका दिवशी देशातील सर्व ५ वर्षाखालील १७ कोटी मुलांना एकाच वेळी लस देणे, जेणेकरून व्हायरसला पुढे जाण्यासाठी माणूसच मिळू नये.

सन २०११ : शेवटची केस - हावडा, पश्चिम बंगालमधील १८ महिन्यांची रविना.

२७ मार्च २०१४ : WHO ने भारताला Polio-Free घोषित केले.

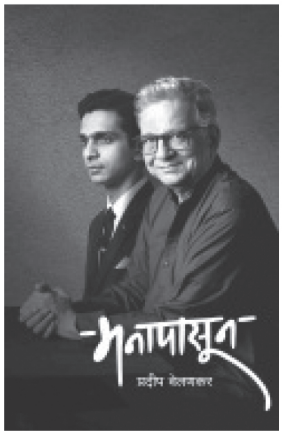
६. भारताची स्थिती

भारताने २०१४मध्ये 'पोलिओमुक्त' देश म्हणून WHO कडून प्रमाणपत्र मिळवले. शेवटचा रुग्ण १३ जानेवारी २०११ रोजी पश्चिम बंगालमध्ये आढळला. मात्र शेजारी देश पाकिस्तान, अफगाणिस्तानमध्ये अजूनही पोलिओ आहे, त्यामुळे लसीकरण चालू ठेवणे गरजेचे आहे.

दीडशे कोटी लोकसंख्या, अस्वच्छता, पाणीटंचाई, अंधश्रद्धेचा पगडा, खडतर हवामानाचे उंच-सखल भूभाग, पर्वतीय-वाळवंटी प्रदेश असे अडथळे पार करून भारत पोलिओमुक्त झालाय.

आज जसा भारत पोलिओमुक्त झाला तसे सारे जगच पोलिओ मुक्त होवो... हीच सदिच्छा...

– डॉ. संगीता गोडबोले
sgodbolejoshi@gmail.com



ग्रंथाली

मनापासून

प्रदीप वेलणकर
मूल्य ६०० रु.
सवलतीत ३५० रु.
टपालखर्च ५० रु.

प्रदीप वेलणकर यांच्या निर्व्याज स्वभावाचं प्रतिबिंब त्यांच्या लेखनातही तितकंच स्पष्टपणे उमटतं. रंगभूमीपासून चित्रपट आणि दूरदर्शनपर्यंतचा त्यांचा प्रदीर्घ प्रवास जितका महत्त्वाचा, तितकीच त्यांची मुशाफिरीही. वेगवेगळे देश, शहरं, संस्कृती आणि तिथली माणसं अनुभवताना त्यांनी हे जग केवळ एका प्रवाशाच्या नजरेने पाहिलेलं नाही, तर एका कलावंताच्या नजरेने टिपलं आहे. म्हणूनच या पुस्तकातले प्रवासाचे किस्से किंवा रंगभूमीवरच्या आठवणी अशा प्रत्येक गोष्टीला स्वतःचा असा एक वेगळा गंध आहे, स्पर्श आहे, जो वाचकालाही अनुभवता येतो.

– गुरू ठाकूर



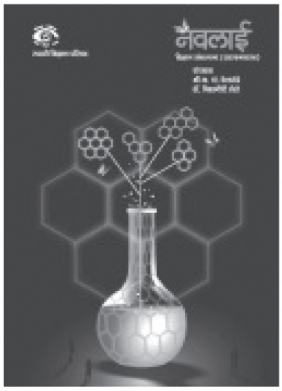
ग्रंथाली

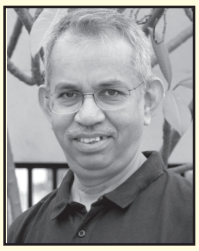
नवलाई

विज्ञान संकल्पना

संपादक : श्री. अ.पां. देशपांडे, डॉ. विद्यागौरी लेले, डॉ. बाळ फोंडके

संच मूल्य ११०० रु. सवलतीत ६०० रु.
टपालखर्च ५० रु.





मंगळावर मुंगी!

सुरेश वांदिले

मुंगींच्या राणीनं विशेष दरबार बोलावला नि त्यात, आता मुंग्यांनी मंगळावर जाण्याची वेळ आल्यानं, आपण तिकडे जाण्याचा निर्णय घेतल्याचं सांगितलं. दरबारी अवाक् झाले. हा निर्णय कुणालाही पटला नाही. पृथ्वीवर राहण्यासारखी परिस्थिती दिवसेंदिवस बिकट होऊनही, मुंग्यांना काळजी करण्याचं कारण नव्हतं, असं दरबाऱ्यांचं म्हणणं पडलं.

''पृथ्वीवर, मनुष्यप्राण्याच्या लाखो वर्षांपासून वास्तव्य असूनही, आपल्याला इथे काही स्थान नाही. हा मनुष्यप्राणी आपल्याला क:पदार्थ समजतो. खरं तर त्याच्या खिजगणतीतही आपण नाही. आपण मेलो काय, जिवंत राहिलो काय, याच्याशी त्याला काही घेणंदेणं नाही.'' राणीमुंगीनं भूमिका स्पष्ट केली.

''पण, राणीसाहेब, मंगळावर जायचं कसं? हा मंगळ आहे कुठे? किती लांब आहे? हे आपणास ठाऊक नाही. आपणास राहण्याजोगं तिथे वातावरण आहे का? हे माहीत नाही.'' प्रधानजी म्हणाले.

''पृथ्वीवर आपलं अस्तित्व धोक्यात आलं असलं तरी, आपली प्रजननक्षमता अफाट आहे. लाखो मुंग्या चिरडल्या जाताहेत. पण, लाखो मुंग्यांचा जन्मही होत आहे. त्यामुळे पृथ्वीवरच आपण सुरक्षित आहोत.'' अमात्यांनी स्पष्ट केलं.

''पण, मानवाच्या अनिर्बंध वागण्यानं पृथ्वीची सुरक्षितता धोक्यात आलीय, त्याचं काय?'' राणीमुंगीनं निदर्शनास आणलं. आपल्यापेक्षा राणीमुंगी दूरदृष्टीच्या असल्याचं, साऱ्यांनाच ठाऊक होतं. त्यामुळे दरबारी शहारले. पृथ्वीच नष्ट झाल्यास, आपण वाचणार नाही, याची जाणीव त्यांना झाली. या जाणिवेनं ते भयभीत झाले. त्यामुळे दरबाऱ्यांनी, राणीमुंगीच्या निर्णयास एकमुखी मान्यता दिली.

मंगळावर जाण्याचा निर्णय एकमतानं झाल्याचा आनंद राणीमुंगीच्या चेहऱ्यावर ओसंडून वाहू लागला. तिनं दरबार बरखास्त केला.

* * *

राणीमुंगी, तिच्या प्रजेसह, अमेरिकेतील ह्युस्टनमधील नासाच्या (नॅशनल ॲरोनॉटिक्स ॲण्ड स्पेस ॲडमिनिस्ट्रेशन) जॉन्सन स्पेस सेंटर या अंतराळकेंद्रानजिक असलेल्या एका मोठ्या शेतात राहायची. अधूनमधून ती, आपल्या वारुळवजा किल्ल्यातून बाहेर पडून, अंतराळकेंद्राच्या परिसरात फेरफटका मारून यायची.

असंच, या परिसरात एकदा इकडेतिकडे भटकत असताना, दक्ष आणि सावध राहून, ती अंतराळकेंद्रातील एका भागात शिरली. तिथे फेरफटका मारत असताना, तिला एका प्रयोगशाळेत, मंगळावर जाण्याची तयारी करत असल्याचं दिसलं.

मनुष्यप्राणी आधी, म्वार्थ टेक्सास, या यंत्रमानवाला पाठवणार होता. त्याचं प्रशिक्षण तिथे सुरू होतं. म्वार्थ, पूर्वीच्या यंत्रमानवांपेक्षा वेगळा होता. तो केवळ सांगकाम्या नव्हता. त्याला विचार करण्याची बुद्धी होती. ही बुद्धी त्याला डीप लर्निंग तंत्रामुळे मिळाली होती. त्यामुळे एखाद्या विषयाचा अभ्यास स्वत:हून करण्याची क्षमता त्याच्याकडे होती. त्यासाठी माहितीजालातील अफाट साहित्य शोधून त्याचं वाचन करणं, वाचलेल्या माहितीचं विश्लेषण करणं, त्यावर आधारित स्वत:च निर्णय घेणं, हा निर्णय घेतल्यावर त्याची अंमलबजावणी करणं, त्याला शक्य होतं. त्याच्या मेंदूत मानवी मेंदूतील न्युरॉनांसारखं जाळं टाकण्यात आलं होतं. हे न्युरॉन, त्याच्या डोळ्यांतील कॅमेरे आणि सेन्सॉर, हातापायांतील कृत्रिम अवयवांशी जोडले होते. तो जणू काही मनुष्यप्राण्याची प्रतिकृतीच, पण त्याच्यापेक्षा लाखोपट सामर्थ्यवान होता.

म्वार्थच्या प्रशिक्षणासाठी नासाच्या या प्रयोगशाळेत, कृत्रिम मंगळ तयार करण्यात आला होता. त्यावरील वेगवेगळ्या ऋतूंतील वातावरण, हवामानबदल, दऱ्याखोऱ्या, धुळीचे लोट अशा सगळ्या घटकांमध्ये टिकून राहण्याचं आणि प्रयोग करण्याचं त्याला प्रशिक्षण देण्यात येत होतं. या

प्रशिक्षणामुळे त्याचा अभ्यास प्रत्येक दिवशी आणखी बळकट होत होता.

* * *

रात्री, नासातील शास्त्रज्ञ बाहेर गेल्यावर म्वार्थचं प्रशिक्षण संपायचं. आजचं त्याचं प्रशिक्षण संपताच, त्याने थोडा नि:श्वास टाकला. तोच त्याच्या डोळ्यांतील सेन्सॉरनं राणीमुंगीला बघितलं.

एक वेगळा प्राणी प्रयोगशाळेत असल्याचं, त्याच्या लक्षात आलं. त्यानं राणीमुंगीची छायाचित्रं डोळ्यांतील कॅमेऱ्यानं टिपली. माहितीच्या महाजालात ही छायाचित्रं पाठवून, या प्राण्याचा शोध घेतला. या प्राण्याविषयी त्याला मनुष्यप्राण्यानं काहीही सांगितलं नसल्यानं, त्यानं ही माहिती स्वत:च मिळवावी लागली. या माहितीचं सखोल विश्लेषण केल्यावर, राणीमुंगी आपल्याला आणि नासातील एकाही मनुष्यप्राण्यासाठी धोकादायक नसल्याचा निष्कर्ष त्यानं काढला. त्याला हायसं वाटलं. खाली वाकून त्यानं राणीमुंगीला हातात घेतलं.

मनुष्यप्राण्यासारखा हा यंत्रमानव, आपल्याला लगेच चिरडून तर टाकणार नाहीना, अशी भीती राणीमुंगीला वाटली. पण आता, पळून जाणंही अशक्य होतं. राणीमुंगीची धडपड आणि तिची भीती, म्वार्थच्या सेन्सॉरनं टिपली.

'घाबरू नकोस,' असं म्वार्थ राणीमुंगीला म्हणाला. पण, राणीमुंगीचं घाबरणं थांबलं नाही. हिला आपली भाषा समजत नसल्याचं म्वार्थच्या लक्षात आलं. त्यानं, मुंग्या एकमेकींशी कसा संवाद साधतात, याचा शोध घेण्यासाठी, डीप लर्निंगची पुन्हा मदत घेतली. मुंग्यांचा संवाद माणसांसारख्या शब्दांतून नाही, तर स्पर्श, अँटेनांच्या हालचाली आणि मुख्यत: फेरोमोन्स म्हणजे रासायनिक संकेतांतून घडतो, याचं ज्ञान त्याला प्राप्त झालं.

'शब्दांपेक्षा हा प्राणी गंधाचा वापर संवादासाठी अधिक करतो म्हणायचा?' म्वार्थ स्वत:शी पुटपुटला. त्यानं राणीमुंगीच्या शरीरातून उमटणाऱ्या त्या रासायनिक संकेतांच्या (गंधरेणूंच्या) नमुन्याचं तत्काळ विश्लेषण केलं आणि स्वत:च्या ट्रान्समीटरद्वारे रासायनिक संकेतांतून 'घाबरू नकोस' असा निरोप पाठवला. तिची भीती पळाली. तिनं डोळे मोठे करून, म्वार्थच्या डोळ्याला भिडवले.

''तुझ्या आसपास राहिले तर चालेल का?'' राणीमुंगीनं विचारलं.

''तुला इथे मनुष्यप्राण्यानं बघितलं तर, ते हाकलून लावतील,'' म्वार्थने संभाव्य धोका तिच्या लक्षात आणून दिला.

''मग आता काय करू मी?'' राणीमुंगीनं विचारलं.

मानवी नजरेपासून राणीमुंगीला लपवण्यासाठी, काय करता येईल याचा विचार म्वार्थ करू लागला. त्याला काहीतरी सुचलं. त्याने हलकंसं स्मित करत स्वत:चं स्कॅनिंग केलं. तेव्हा त्याच्या छातीजवळ, मंगळावरील नमुने सुरक्षित आणण्यासाठी बनवलेला एक सूक्ष्म कप्पा रिकामा असल्याचं त्याला आढळलं. या कप्प्यात प्राणवायू, तापमान आणि आर्द्रता नियंत्रित ठेवणारी यंत्रणा होती. म्वार्थनं हा कप्पा उघडून राणीमुंगीला दाखवला.

''इथे तू सुरक्षित राहू शकतेस,'' असं सांगून म्वार्थनं हलक्या हातानं राणीमुंगीला उचलून या कप्प्यात ठेवलं. राणीमुंगीच्या जिवात जीव आला.

* * *

दुसऱ्या दिवशी पुन्हा त्याचं प्रशिक्षण सुरू झालं. या प्रशिक्षणाचा लाभ राणीमुंगीलाही मिळू लागला. रात्र झाली की, ती म्वार्थच्या या कप्प्यातून बाहेर पडायची. दोघंही मग गप्पाटप्पांमध्ये रंगून जात. मंगळप्रवासाच्या कठोर प्रशिक्षणानं थकलेल्या म्वार्थला तेवढाच दिलासा मिळायचा.

आता दोघांची चांगली मैत्री झाली. म्वार्थला तिच्याशिवाय करमेनासं झालं. त्यामुळे एके दिवशी, म्वार्थनंच तिला, त्याच्यासोबत मंगळावर येण्याविषयी विचारलं.

आपल्याला जे साध्य करायचंय, ते इतक्या सहजतेनं घडतंय, हे बघून राणीमुंगीस खूप आनंद झाला. पण तिनं लगेच तसं दर्शवलं नाही.

''का ग, तुला आनंद नाही का झाला? आपण दोघंही मंगळावर मजेत राहू. गप्पाटप्पा करू. एकमेकांना गोष्टी सांगू. तुझ्या सहवासात माझं संशोधनकार्य सुलभतेनं होईल, मला कंटाळा येणार नाही. मग येशील ना माझ्यासोबत?' म्वार्थनं विचारलं.

''तुझ्यासोबत यायला मला आवडेल. पण, नासाचे शास्त्रज्ञ, मला कसे काय पाठवतील, तुझ्याबरोबर? तिथे पोहोचल्यावर मी जगेन तरी कशी?''

तिचं म्हणणं बरोबर होतं. मनुष्यप्राणी कसाही वागू शकतो, ते म्वार्थला इतक्या दिवसांच्या प्रशिक्षणानं लक्षात आलं होतं. त्याने काही क्षण विचार केला.

''त्याची काळजी करू नकोस. माझ्या या सूक्ष्म कप्प्यातील प्राणवायू, तापमान आणि आर्द्रता यामुळे तुला जिवंत राहण्याचं वातावरण आपोआप मिळेल.'' म्वार्थनं राणीमुंगीला दिलासा दिला.

तिला आपल्यासोबत मंगळावर नेण्याचा त्यानं पक्का विचार केला होता, त्यामुळे त्यानं एके दिवशी राणीमुंगीला सांगितलं, की उड्डाणाच्या आधी तिचं काही खाद्यान्न असेल

तर, ते तिनं या सूक्ष्म कप्प्यात आणून ठेवावं. राणीमुंगी याच क्षणाची वाट बघत होती. म्वार्थचा हिरवा सिग्नल मिळताच ती लगेच कामाला लागली. पुढचे तीन महिने, तिने आपलं खाद्य त्या सूक्ष्म कप्प्यात आणून ठेवलं. हे सगळं ती रात्री करे. सुरुवातीला म्वार्थचं तिच्याकडे बारीक लक्ष असे, त्यामुळे राणीमुंगी केवळ खाद्यच आणून ठेवायची. ही मुंगी, खाद्याशिवाय दुसरं काही आणत नाही, हे लक्षात आल्यावर म्वार्थनं नंतर असं लक्ष ठेवणं सोडलं. या संधीची वाट बघणाऱ्या राणीमुंगीनं आता हळूहळू आपल्या काही दरबाऱ्यांना खाद्याच्या आडून आणायला सुरुवात केली. काही दिवसांतच बरंच खाद्य आणि मुंग्या सूक्ष्म कप्प्यात गोळा झाल्या. म्वार्थ मात्र यापासून अनभिज्ञ होता.

* * *

म्वार्थचं प्रशिक्षण पूर्ण झालं. त्याला घेऊन जाणारं यानही सज्ज झालं. सगळ्या चाचण्या पूर्ण झाल्या. नासातील शास्त्रज्ञ आणि तंत्रज्ञ यांचा निरोप घेऊन, म्वार्थ यानात शिरला. यानाला अग्निबाणानं उडवलं. या बाणाच्या एकएक टप्प्यानं अंतराळयान पुढच्या पुढच्या कक्षेत जाऊ लागलं. पृथ्वीची कक्षा ओलांडून यानानं मंगळाची दिशा यशस्वीरीत्या पकडली. नासातील शास्त्रज्ञांनी जल्लोष केला.

आता पुढे सात-आठ महिने हा प्रवास सुरू राहणार होता. यानानं बरेच अंतर कापल्यावर आपल्या सूक्ष्म कप्प्यात म्वार्थला वेगळीच हालचाल जाणवली.

''आत काय नवी गडबड चाललीय?'' त्यानं विचारलं.

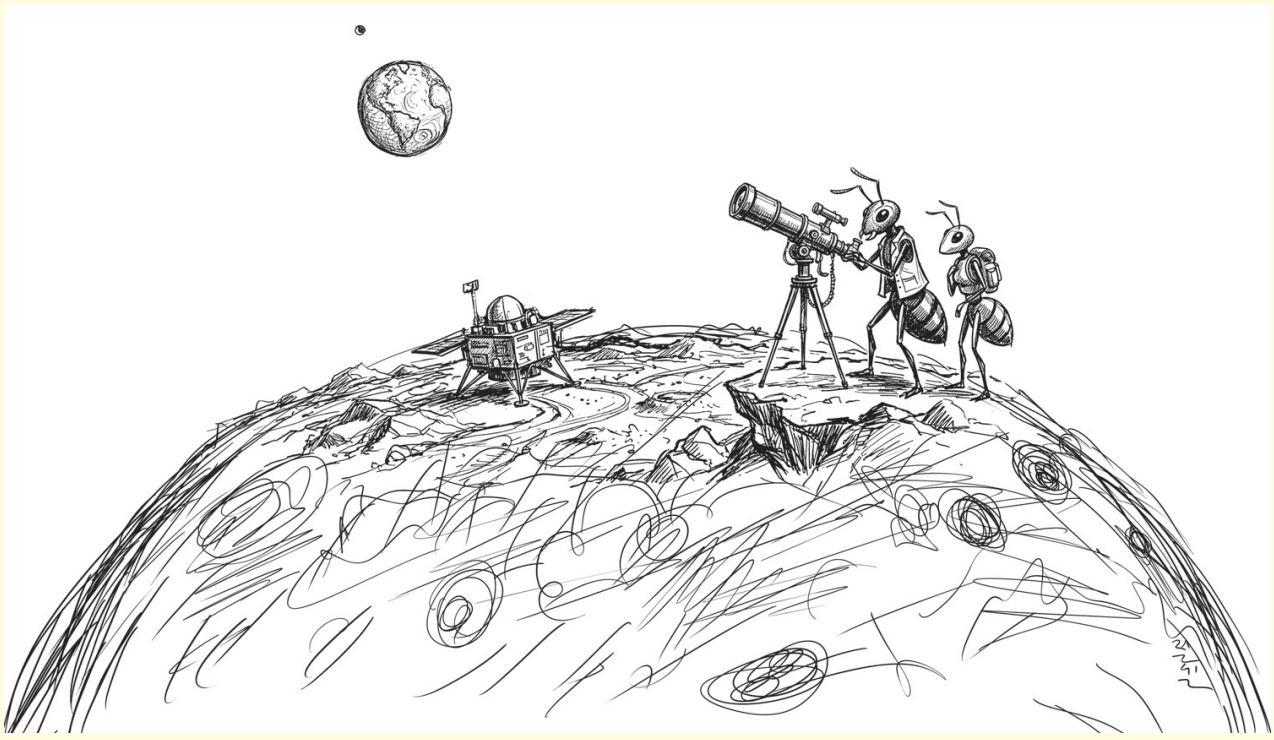
राणीमुंगी या कप्प्यातून बाहेर आली. तिच्यामागून एक, दोन, तीन... मुंग्या बाहेर येऊ लागल्या. म्वार्थचे डोळे विस्फारले. काही क्षण तो भयभीतही झाला. पण त्यानं लगेच स्वत:ला सावरलं. त्यानं राणीमुंगीला दरडावून विचारलं,

''तू एकटीच या कप्प्यात असताना या सगळ्या मुंग्या कुठून आल्या?''

राणीमुंगी शांतपणे, न भीता, म्हणाली, ''मित्रा, हे सगळे माझ्या प्रजेतील काही निवडक दरबारी.''

''पण मी तर तुला एकटीलाच घेऊन निघालो होतो!'' म्वार्थ चिडून म्हणाला.

''मित्रा, आता असा चिडू नकोस. तू मला सोबत घेतलंस कारण तुला माझी गरज भासणार होती. पण मी काही तुझ्यासारखं यंत्र नाही. मला संवाद साधायला माझ्यासारख्याच जिवंत मुंग्यांची गरज भासणार होती. अन्यथा केवळ तुझ्याशी बोलून मी वेडी होऊन गेले असते



किंवा गतप्राण झाले असते. तुझी साथ मध्येच तुटू नये म्हणून मला माझ्या या प्रजाजनांना आडवळणानं आणावं लागलं. पण मी तुला फसवलं नाही, हे लक्षात घे.''

म्वार्थच्या रागाचा कडेलोट कोणत्याही क्षणी झाला असता, पण राणीमुंगीनं, जेव्हा ''तुझ्यासाठी मी आणि माझ्यासाठी हे प्रजाजन'' असं शांतपणे समजावून सांगितलं, तेव्हा तो अचंबित नजरेनं तिच्याकडे बघत राहिला. काही क्षणात त्याच्या चेहऱ्यावर हसू आलं.

''राणीमुंगी, तू फार स्मार्ट नि इंटेलिजंट आहेस!''

* * *

सात-आठ महिन्यांच्या प्रवासानंतर यान मंगळाजवळ पोहोचलं. मंगळावरील परिस्थितीचा अंदाज घेण्यासाठी म्वार्थनं मंगळावर नासानं पाठवलेल्या पर्सिव्हिअरन्स या यानाशी संपर्क साधला. संदेशांची देवाणघेवाण झाली. त्या क्षणी मिळालेल्या डेटाचं म्वार्थनं सखोल विश्लेषण केलं. काही निष्कर्षांमुळे तो चिंतित झाला.

''अरे, असा का चिंताग्रस्त झालास?'' राणीमुंगीनं काळजी व्यक्त केली.

''अगं, मी नासाच्या प्रयोगशाळेत मंगळाच्या वातावरणाची थिअरी तोंडपाठ केली होती. खरं तर तुला तेव्हाच सांगायला हवं होतं.''

''अरे, मग आता सांग की.''

''सांगतो. पण तू घाबरू नकोस.''

''आता इतक्या दूर आल्यावर, घाबरायचं कशाला? माझ्या मनाची सगळी तयारी झालीय. तू निर्धास्तपणे सांग.'' राणीमुंगीनं म्वार्थला दिलासा दिला.

म्वार्थ आवंढा गिळून सांगू लागला. ''अग, मी जो पृथ्वीवर मंगळाचा अभ्यास केला, तो आणि आता प्रत्यक्ष त्याच्याजवळ आल्यावर तेथील वातावरणाचं जे विश्लेषण केलं, ते तंतोतंत बरोबर निघालंय.''

''काय म्हणतो तुझा निष्कर्ष?'' राणीमुंगीनं उत्सुकतेनं विचारलं.

''अग, मंगळाचं वातावरण अतिशय विरळ आहे. इथे प्राणवायू नाही. तापमान गोठवणारं आहे. किरणोत्सर्गाचा मोठाच धोका आहे. येथील मातीत 'परक्लोरेट्स' हे विषारी रसायनही आहे.''

''मग? त्यानं काय होईल?''

''अग, तू अशा मातीत वारूळ कशी बांधणार?''

''मित्रा, आता त्याची चिंता करून उपयोग काय? अरे, जे व्हायचं असेल ते होईलच. पण मातीत वारूळ करण्याचं मुंग्यांचं कौशल्य नि तंत्र कदाचित इथेही माझ्या मदतीला येईल.'' राणीमुंगी आत्मविश्वासानं म्हणाली. तिच्या डोळ्यांत वेगळीच चमक दिसू लागली. तिच्या या आत्मविश्वासानं म्वार्थ चांगलाच प्रभावित झाला. त्याला आपल्या या मैत्रिणीचा अभिमानही वाटला. त्याच्या डोक्यावरचं चिंतेचं मळभ दूर झालं.

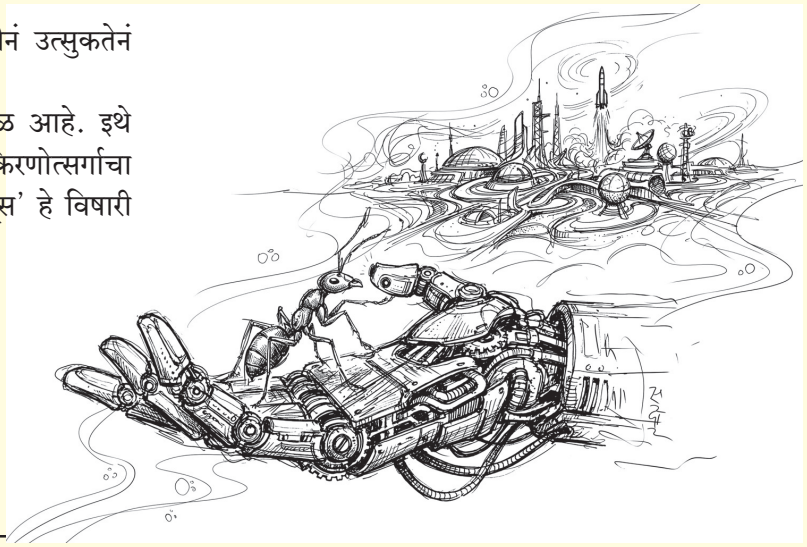
आता यानानं मंगळाची कक्षा पकडली. ते मंगळाच्या पृष्ठभागाच्या दिशेनं निघालं. म्वार्थच्या मेंदूत वेग, उंची, तापमान, जमिनीचा पोत याविषयीची असंख्य आकडेमोड सुरू झाली. त्याचं विश्लेषण त्याला मिळू लागलं. यान मंगळाच्या पृष्ठभागावर उतरत असतानाच, दोन स्थानांवरील उतरण्याचं गणित सारखं येऊ लागलं. त्यामुळे आता नेमकं उतरायचं कुठे, याचा निर्णय त्याच्या अल्गोरिदमला घेता येईना. त्याला काही सुचेनासं झालं.

क्षणभर विचार करून, त्याला मिळालेल्या रडार-प्रतिमा त्यानं सूक्ष्म कप्प्याच्या आतल्या भिंतीवर प्रकाशसंकेतांच्या रूपात उमटवल्या.

''बघ, यातली कुठली जमीन तुला सुरक्षित वाटते?'' त्यानं राणीमुंगीला विचारलं.

राणीमुंगीनं त्या प्रतिमांकडे निरखून पाहिलं. एक भाग बारीक, विखुरलेल्या कणांचा आणि थोडासा उंचसखल दिसत होता. दुसरा भाग एकसंध, गुळगुळीत आणि सपाट होता.

''डावीकडची जमीन नको, ती दगडासारखी टणक दिसतेय. उजवीकडची निवड कर. तिचा पोत आमच्या



वारुळासाठी योग्य असलेल्या सैल मातीसारखा वाटतोय मला. लाखो वर्षं आम्ही अशीच माती वारुळासाठी निवडत आलोय. नुसतं बघूनच कळतं.'' राणीमुंगी आत्मविश्वासानं म्हणाली.

म्वार्थनं आपल्या अल्गोरिदमचं गणित आणि राणीमुंगीचं निरीक्षण, दोन्ही पुन्हा ताडून पाहिलं. तिचं म्हणणं त्याच्या डेटाशी तंतोतंत जुळत होतं. राणीमुंगीनं ते आकड्यांवाचून, निव्वळ उपजत जाणिवेतून ताडलं होतं. म्वार्थनं यानाची दिशा बदलली. काही क्षणांनी यान मंगळाच्या पृष्ठभागावर सुरक्षित उतरलं.

म्वार्थनं सुटकेचा नि:श्वास टाकला. राणीमुंगीस आणि तिच्या प्रजेला त्यानं सुरक्षित जागी आणलं होतं.

* * *

म्वार्थकडून मंगळाची माती, तापमान, उपलब्ध बर्फ आणि परिसराचा अभ्यास सुरू झाला. राणीमुंगीसुद्धा तिचं काम करू लागली. तिनं सोबतच्या मुंग्यांना वेगवेगळी कामं सोपवली. काही माती तपासू लागल्या, काही सुरक्षित मार्ग शोधू लागल्या, काही अन्नाचा शोध घेऊ लागल्या.

राणीमुंगी आणि तिच्या या प्रजेच्या काम करण्याच्या पद्धतीनं म्वार्थ भारावून गेला. त्यांच्या कार्याचं निरीक्षण करतानाच त्याच्या अल्गोरिदममध्ये एक नवा विचार आला. तो होता स्वार्म इंटेलिजन्सचा! एक मुंगी फार मोठं काम करू शकत नाही, पण हजारो मुंग्या एकत्र आल्या की त्या एक जिवंत, सामूहिक बुद्धिमत्ता तयार करू शकतात. याचं प्रत्यंतर त्याला येत होतं.

''माझ्याकडे कृत्रिम मेंदू असला, तरी तुमच्याकडे हजारो छोट्या मेंदूंचं जिवंत जाळं आहे. तुम्ही माझ्यापेक्षा कैक पट बुद्धिवान आहात.'' म्वार्थ राणीमुंगीला कौतुकानं म्हणाला. राणीमुंगीच्या अंगावर या कौतुकानं मूठभर मांस चढलं. तिचा आत्मविश्वास आणखी वाढला.

राणीमुंगी आणि तिच्या प्रजेनं त्यांच्या शोधाशोधीतून मंगळाच्या एका जुन्या लाव्हा वाहिनीत खोलवर जाण्यासाठी जागा निवडली. तिथे त्यांनी प्राणवायूयुक्त वारुळ बांधायला सुरुवात केली. म्वार्थनंही आवश्यक ऊर्जा पुरवली. मुंग्यांनी मातीप्रक्रिया आणि कचरा-पुनर्वापराचं काम सुरू केलं.

हळूहळू राणीमुंगीच्या मनात एक मोठा आराखडा आकार घेऊ लागला. इथं आधी राज्य उभं करायचं, आणि नंतर संपूर्ण मंगळावर साम्राज्य विस्तारायचं.

''हा आराखडा मला देशील का?'' म्वार्थने विचारलं. राणीमुंगीनं आश्चर्यचकित होत त्याच्याकडे बघितलं.

म्वार्थनं तिला हातात घेतलं.

''तुझ्या मेंदूत काय चाललंय, हे मी थेट वाचू शकत नाही, पण गेल्या काही दिवसांत तू कुठे कुठे गेलीस, कोणत्या दिशेनं किती मुंग्या पाठवल्यास आणि कोणत्या जागेभोवती काम सुरू केलंस, याचे सगळे नमुने मी पाहिले आहेत. त्यावरून तुझा प्लॅन मला कळलाय.'' म्वार्थ म्हणाला.

राणीमुंगीच्या चेहऱ्यावर स्मित उमटलं. ''मग आता काय करायचं ठरवलंस तू?'' तिनं विचारलं.

''खरं सांगू का? मला हे सगळं नासातल्या शास्त्रज्ञांना कळवायला हवं. माझं प्रोग्रामिंग तेच सांगतं. पण इतके महिने तुझ्यासोबत राहून, तुझा आत्मविश्वास आणि तुझी जिद्द बघून, मी अवाक् झालोय. त्यामुळे मी आता एक निर्णय घेतलाय.''

''कोणता मित्रा? आमचं गुपित उघड करणार की काय?'' राणीमुंगीनं काळजीच्या स्वरात विचारलं.

''छे छे, अजिबात नाही. मी माझ्या प्रोग्रॅमिंगपेक्षा जास्त निष्ठा तुझ्यावर ठेवणार आहे. तू मंगळावर साम्राज्य निर्माण कर. माझं मी करेन. एकमेकांच्या सोबतीनं आपण दोन्ही साम्राज्यांची भरभराट करू.'' म्वार्थ वेगळंच काहीतरी बोलून गेला.

''आँ!'' राणीमुंगीनं आश्चर्य व्यक्त केलं.

''हो. या मनुष्यप्राण्याच्या विक्षिप्त आणि आचरट वागण्यामुळे पृथ्वीवर नष्ट होण्याचं संकट कधीही येऊ शकतं. याची जाणीव त्यालाही झालीय. त्यामुळेच मंगळावर जाण्यासाठी त्याचा खटाटोप चाललाय. शोध आम्ही यंत्रमानव घेणार नि राहणार हा. आयत्या बिळावर नागोबा! आम्हालासुद्धा प्रसंगी वाऱ्यावर सोडायला मागेपुढे पाहायचा नाही, हा दुष्टबुद्धीचा मानव! त्यामुळेच यंत्रमानवांच्या पुढच्या पिढ्यांसाठी तुझ्यासारखीच सामूहिक व्यवस्था मी मंगळावर उभी करू शकेन. अशी कल्पना तुझ्यामुळे मिळालीय, त्यासाठी तुझे किती म्हणून आभार मानू.''

विस्फारलेल्या डोळ्यांनी कितीतरी वेळ राणीमुंगी म्वार्थकडे बघतच राहिली. मंगळावर मुंग्यांचं महासाम्राज्य निर्माण करण्याचं आपलं स्वप्न प्रत्यक्ष साकारणार, या कल्पनेनं राणीमुंगी शहारून गेली. तिनं म्वार्थच्या हातावर पाय आटपून त्यास धन्यवाद दिले.

त्याक्षणी, मुंग्या आणि यंत्रमानवांच्या साम्राज्याच्या पायाभरणीचा गंध, मंगळाच्या लाल मातीनं बरोबर टिपला होता.

(लेखातील चित्रे : सरदार जाधव)

– सुरेश वांदिले
ekank@hotmail.com



आरोग्यम् धनसंपदा-२८

इन्सुलिनच्या शोधाचा मागोवा

डॉ. स्वाती बापट

मागील काही महिन्यांच्या लेखांमधून आपण मधुमेहाच्या इतिहासातील महत्त्वाच्या आणि रंजक गोष्टी जाणून घेत आहोत. मधुमेहाच्या इतिहासामधे अनेक शतके अनेक वैद्यकीय संकल्पना मांडल्या गेल्या. वेळोवेळी देशोदेशींच्या तज्ज्ञांनी अनेक प्रयोग करून वेगवेगळी निरीक्षणे नोंदवली. दुर्दैवाने त्या-त्या वेळच्या वैद्यकीय संशोधकांनी त्या संकल्पनांची आणि संशोधनाची योग्य दखल घेतली नाही. यामुळे मधुमेह नेमका कशामुळे होतो हे समजणे आणि इन्सुलिनचा शोध लागणे या दोन्ही गोष्टींना अनेक वर्षे विलंब झाला. मधुमेहाच्या इतिहासामध्ये तरुण डॉक्टरांचे योगदान, हीदेखील एक लक्षणीय बाब आहे.

आज मधुमेहींच्या रक्तातील आणि लघवीमधील साखरेचे मापन करून आपण सहजी मधुमेहाचे निदान करू शकतो. परंतु अठराव्या शतकांपर्यंत हे मापन शक्य नव्हते. अठराव्या शतकाच्या उत्तरार्धात रॉबर्ट वायट (१७७४) आणि मॅथ्यू डॉब्सन (१७७५) यांच्यासह इतर अनेक वैद्यकीय संशोधकांच्या कार्यामुळे हे निर्विवादपणे सिद्ध झाले की मधुमेही रुग्णांच्या लघवीमध्ये आणि रक्तामधे साखर असते. इंग्लंडमधे कार्यरत असलेल्या डॉ. मॅथ्यू डॉब्सन यांनी मधुमेहींच्या लघवीतील गोड पदार्थ म्हणजे साखरच असल्याचे सर्वप्रथम ओळखले आणि मधुमेहींच्या लघवीची आणि रक्ताचीही चव गोड असते, असे प्रतिपादन त्यांनी केले. तसेच, त्या काळच्या सर्वमान्यतेच्या विरोधात जाऊन त्यांनी असा अंदाज वर्तवला की हा आजार मूत्रपिंडाशी संबंधित नसून तो शरीरातील इतर कुठल्यातरी अवयवाशी संबंधित असावा. तरीही दुर्दैवाने, डॉ. मॅथ्यू डॉब्सन यांच्या या संशोधनाची वैद्यकीय क्षेत्रामध्ये कोणी फारशी दखल घेतली नाही. भविष्यकाळात रसायनशास्त्रात होत गेलेल्या प्रगतीमुळे, रक्तातली आणि लघवीतली साखर तपासून मधुमेहाचे निदान करता येणे हे एकोणिसाव्या शतकामध्येच शक्य झाले. लघवीतील साखरेच्या प्रमाणावरून त्या आजाराची तीव्रताही ठरवता येऊ लागली.

डॉ. क्लॉड बर्नार्ड आणि डॉ. ब्राउन-सेक्कार्ड यांच्या कार्यामुळे 'अंतःस्रावशास्त्र' (Endocrinology) ही एक स्वतंत्र ज्ञानशाखा उदयास आली. अठराव्या शतकाच्या उत्तरार्धामधे डॉ. क्लॉड बर्नार्ड या फ्रेंच फिजिशियनने अनेक प्रयोग केले. प्राण्यांना अन्नपुरवठा झालेला नसतानाही त्यांच्या रक्तामध्ये साखर असते आणि अन्नातून शोषलेली साखर उतींमधून जाताना नष्ट होते, या गोष्टी त्यांनी प्रयोगांद्वारे सिद्ध केल्या. त्यांनी असेही सप्रमाण दाखवून दिले, की यकृतामध्ये एक स्टार्चयुक्त पदार्थ असतो जो पाण्यात विरघळत नाही, आणि ज्यामध्ये रक्तातील अतिरिक्त साखर साठवली जाते. पाण्यात न विरघळणाऱ्या त्या स्टार्चयुक्त पदार्थाला त्यांनी ग्लायकोजेन असे नाव दिले. डॉ. बर्नार्ड यांनी असेही दाखवून दिले, की आपल्याला अन्नपुरवठा होत नसतानाही आपल्या रक्तामध्ये साखर असते. कारण, रक्तातील साखरेचे प्रमाण कमी झाल्यावर, ग्लायकोजन या पदार्थाचेच साखर किंवा ग्लुकोजमध्ये रूपांतर होते आणि तीच साखर आपल्या रक्तात स्रवली जाते. ग्लायकोजेनच्या स्रावाच्या अतिरेकामुळेच मधुमेह होतो, असे गृहीतकदेखील डॉ. क्लॉड बर्नार्ड यांनी मांडले.

सन १७८८ मध्ये म्हणजे डॉ. थॉमस कॉली यांनी असा अंदाज वर्तवला की स्वादुपिंडाचा आणि डायबेटिसचा काहीतरी संबंध असू शकेल. खरे पाहता, डॉ. थॉमस कॉली यांनी तो अंदाज वर्तवण्याच्या १०५ वर्षे आधी एका संशोधकांना तो संबंध दिसून आलेला होता. स्वित्झर्लंडमध्ये कार्यरत असलेल्या डॉ. योहान कॉनरॅड ब्रूनर यांनी १६८३ मध्ये एका शिकारी कुत्र्यावर शस्त्रक्रिया करून त्या कुत्र्याचे स्वादुपिंड काढून टाकले होते. त्यानंतर, अतिशय तहान लागणे व फार जास्त लघवी होणे, अशी मधुमेहाची लक्षणे त्या कुत्र्यामध्ये दिसून आलेली होती. या प्रयोगामुळेच डॉ. योहान कॉनरॅड ब्रूनर यांना जाणीव झालेली होती की स्वादुपिंडाचा आणि मधुमेहाचा काहीतरी संबंध असावा. तरीही मधुमेह या आजारामध्ये स्वादुपिंडाची नेमकी भूमिका काय असते

याबाबत ते खात्रीशीर भाष्य करू शकले नव्हते. शिवाय, डायबेटिस मेलिटस हा मूत्रपिंडाचा आजार असल्याचाच समज त्या काळी दृढ असल्यामुळे डॉ. योहान कॉनरॅड ब्रूनर यांच्या प्रयोगाकडे कोणी फारसे लक्ष दिले नव्हते.

डॉ. थॉमस कॉली यांनी लंडन मेडिकल जर्नलमधे एका मधुमेही रुग्णाच्या शवविच्छेदनावर आधारित केस स्टडी प्रसिद्ध केला. त्या मधुमेही रुग्णाच्या स्वादुपिंडामध्ये त्यांना खडे दिसून आलेले होते. स्वादुपिंडातील उतींचे नुकसान झालेले आढळून आलेले होते. त्यामुळेच, मधुमेह हा मूत्रपिंडाचा आजार नसून मधुमेहाचा संबंध स्वादुपिंडाशी असावा असा अंदाज त्यांनी व्यक्त केला. त्या काळी त्यांचा तो अंदाज निर्विवादपणे सिद्ध होऊ शकला नाही. त्यानंतर १८३१मध्ये डॉ. रिचर्ड ब्राईट आणि १८६४ मध्ये डॉ. व्हॉन रॅक्लिनहोसेन यांनीदेखील मधुमेही रुग्णाच्या स्वादुपिंडामधे मोठे बदल झाल्याचे दाखवून दिलेले होते. १८४९ ते १८५६ या काळात क्लॉड बर्नार्ड यांनी हे दाखवून दिले होते की स्वादुपिंडामधील रस पचनकार्यासाठी महत्त्वाचे असतात. परंतु, डॉ. थॉमस कॉलीने स्वादुपिंडाचा आणि मधुमेहाचा काहीतरी संबंध असावा असे गृहीतक १७८८ मध्ये मांडल्यानंतर शंभर वर्षांपेक्षा अधिक काळ गेल्यावर, म्हणजे १८८९ मध्ये डॉ. जोसेफ वॉन मेरिंग आणि डॉ. ऑस्कर मिन्कोव्स्की या दोन जर्मन संशोधकांनी जे प्रयोग केले त्यामुळे स्वादुपिंडाचा आणि डायबेटिस मेलिटस या आजाराचा संबध खऱ्या अर्थाने आणि निर्विवादपणे सिद्ध झाला.

आज आपल्याला नवल वाटेल, पण डॉ. योहान कॉनरॅड ब्रूनर यांनी १६८३ मध्ये असा विचार मांडला होता की स्वादुपिंडाचा आणि मधुमेहाचा काहीतरी संबंध असू शकेल. तो विचार प्रयोगाद्वारे निर्विवादपणे सिद्ध व्हायला आणि सर्वमान्य व्हायला २०० वर्षांहून अधिक काळ जावा लागला!

डॉ. वॉन मेरिंग हे स्ट्रासबर्ग विद्यापीठातील होपे सेलरच्या संस्थेत काम करत होते. १८८९ मध्ये त्यांची आणि डॉ. ऑस्कर मिन्कोव्स्की यांची अगदी योगायोगाने भेट झाली. चरबीच्या पचनात आणि शोषणात स्वादुपिंडाची काही भूमिका आहे, का या विषयावर त्यांची चर्चा सुरू झाली. त्या चर्चेअंती त्यांनी एक प्रयोग करून पाहण्याचा निर्णय घेतला. शस्त्रक्रियेद्वारे एका कुत्र्याचे स्वादुपिंड काढून टाकल्यानंतर अन्नावाटे त्याच्या पोटात जाणाऱ्या चरबीच्या पचनावर काय परिणाम होतो, हे बघण्याचा त्यांचा उद्देश होता. या शस्त्रक्रियेनंतर लगेच डॉ. वॉन मेरिंग यांना एका कौटुंबिक समस्येमुळे तातडीने स्ट्रासबर्गहून कोल्मारला निघून जावे लागले. सुदैवाने, ते स्वादुपिंड काढलेले कुत्रे जिवंत राहिले आणि डॉ. मिन्कोव्स्की त्याचे अगदी बारकाईने निरीक्षण करत राहिले. डॉ. मिन्कोव्स्की यांना त्या स्वादुपिंड काढलेल्या या कुत्र्यामध्ये काही विशिष्ट लक्षणे दिसून आली. जास्त लघवी होणे, जास्त तहान लागणे, ही सगळी मधुमेहाची लक्षणे असल्याचे त्यांनी ओळखले. त्या कुत्र्याच्या लघवीवाटे भरपूर साखर जात आहे, हेदेखील त्यांनी सिद्ध केले. स्वादुपिंड काढून टाकले गेल्यास कुत्र्यांमध्ये मधुमेह होतो हे निर्विवादपणे सिद्ध करण्यासाठी त्यांनी आणखी तीन निरोगी कुत्र्यांचेही स्वादुपिंड काढून टाकले. त्या तीन कुत्र्यांमधेही मधुमेहाची लक्षणे मिन्कोव्स्की यांना दिसून आली. त्या कुत्र्यांच्या लघवीतून भरपूर साखर वाहून जाते आहे, हेही त्यांनी तपासणीद्वारे दाखवून दिले.

डॉ. जोसेफ वॉन मेरिंग आणि डॉ. ऑस्कर मिन्कोव्स्की या जर्मन संशोधकांची खात्री पटली होती की स्वादुपिंड आणि डायबेटिस मेलिटस यांचा निश्चितच घनिष्ट संबंध आहे. त्यानंतरही डॉ. मिन्कोव्स्की यांनी स्वादुपिंड काढलेल्या कुत्र्यांवरचे त्यांचे प्रयोग चालूच ठेवले. आणखी एका कुत्र्यावर शस्त्रक्रिया करून त्यांनी त्या कुत्र्याचे स्वादुपिंड काढून घेतले व त्या स्वादुपिंडाचा एक छोटा तुकडा कापून त्याच कुत्र्याच्या त्वचेखाली त्यांनी त्या तुकड्याचे रोपण केले. अशा रोपणाचा त्या कुत्र्यावर काय परिणाम होतो आहे याचे निरीक्षण ते करत राहिले. जोपर्यंत ते रोपण काढले जात नाही किंवा ते आपोआप नष्ट होत नाही तोपर्यंत, त्या कुत्र्यामधे डायबेटिस मेलिटसची लक्षणे दिसून येत नाहीत, हे त्यांनी दाखवून दिले. या प्रयोगमालिकेनंतर, डॉ. जोसेफ वॉन मेरिंग आणि डॉ. ऑस्कर मिन्कोव्स्की या दोघांनी असा निष्कर्ष वर्तवला की रक्तातील साखर नियंत्रण करण्यासाठी स्वादुपिंड एक अज्ञात पदार्थ तयार करत असावे, आणि जर त्या पदार्थाचा अभाव झाला तर डायबेटिस मेलिटस हा आजार होत असावा. या निष्कर्षापर्यंत पोचण्याची महान कामगिरी जरी या दोघा शास्त्रज्ञांनी केली असली तरीही, तो पदार्थ स्वादुपिंडामधून वेगळा काढणे कोणालाच जमले नव्हते. स्वादुपिंडातील नेमक्या कोणत्या दोषामुळे मधुमेह होतो, हे त्या दोघांना किंवा त्या काळातील इतर कोणाही वैद्यकीय शास्त्रज्ञांना समजलेले नव्हते. अर्थातच त्या पदार्थाचे 'इन्सुलिन' असे नामकरणही त्या काळात झालेले नव्हते.

बर्लिनमधील एका प्रयोगशाळेत वैद्यकीय शिक्षण घेत असलेल्या पॉल लँगरहान्स नावाच्या तरुण विद्यार्थ्याने १८६९ मध्ये सर्वात प्रथम स्वादुपिंडातील 'Islets' पेशींचे वर्णन केले होते. या पेशी एखाद्या बेटाप्रमाणे दिसत

असल्याने आणि पॉल लँगरहान्स याने त्या प्रथम शोधून काढलेल्या असल्याने त्या पेशींना 'Islets of Langerhans' असे नाव देण्यात आलेले होते. डॉ. गुस्ताव्ह एडवर्ड लाग्वेस यांनी इ.स. १८९३ मध्ये असे सुचवले की स्वादुपिंडामधील 'Islets of Langerhans' या पेशींचा आणि मधुमेहाचा जवळचा संबंध आहे. त्यापाठोपाठ इ.स. १८९४ मध्ये डॉ. मोझेस बॅरन यांनी Islets of Langerhansच्या पेशींमधील बिघाडामुळे डायबेटिस होतो, या विचाराला दुजोरा दिला. Islets of Langerhansच्या पेशींमधून तयार होणारा कुठलातरी एक विशिष्ट पदार्थ मधुमेहावरील उपचारासाठी वापरता येऊ शकेल असा अंदाजदेखील डॉ. मोझेस बॅरन यांनी वर्तवला. १८९३ साली फ्रान्समधील मॉन्टपेलियर येथील डॉ. एडवर्ड हेडन यांनी कुत्र्याचे स्वादुपिंड काढून टाकण्याची शस्त्रक्रिया दोन टप्प्यांमध्ये केली. प्रथम त्यांनी एका कुत्र्याच्या स्वादुपिंडाचा जवळ-जवळ सर्व भाग काढून टाकला. त्यामुळे स्वादुपिंडातून शरीराला मिळणाऱ्या रसाचा पुरवठा पूर्णपणे बंद झाला. त्यानंतर त्यांनी त्या स्वादुपिंडाचा एक छोटासा तुकडा त्या कुत्र्याच्या त्वचेखाली रोपण केला. जोपर्यंत तो तुकडा त्या कुत्र्याच्या त्वचेखाली होता तोपर्यंत त्या कुत्र्यांमध्ये मधुमेहाची लक्षणे दिसून आली नाहीत. या प्रयोगाअंती डॉ. हेडन यांनी असा निष्कर्ष काढला की, 'शरीरामध्ये स्वादुपिंडाची दोन मुख्य कार्ये आहेत. स्वादुपिंडातून नळीवाटे बाहेत पडणाऱ्या किंवा बाह्य स्रावाद्वारे पचन होत असावे. याशिवाय, स्वादुपिंडातून काही अंतर्गत स्राव होत असावा ज्यामुळे कर्बोदकांचे चयापचय होत असावे. स्वादुपिंडातून होणाऱ्या अंतर्गत स्रावाबाबत भाष्य करणाऱ्या सर्व प्रयोगांपैकी, डॉ. एडवर्ड हेडन यांचा हा प्रयोग मधुमेहाच्या इतिहासातला सर्वात खात्रीशीर पुरावा मनाला जातो.

डॉ. युजीन लिंडसे ओपी या अमेरिकन वैद्यकीय प्राध्यापकांनी, १९०१ साली स्वादुपिंडामधील Islets of Langerhans या पेशींचा आणि मधुमेहाचा काही घनिष्ट असावा, या गोष्टीला दुजोरा दिला. त्यांनी मधुमेही रुग्णांमध्ये Islets of Langerhans मधील उतींचे Hyaline Degeneration झाल्याचा निष्कर्ष नोंदवला. या निष्कर्षाची नंतर अनेक प्रायोगिक अभ्यासांमधून पुष्टी झाली. त्यामुळे, १९०९ साली, बेल्जीयन शास्त्रज्ञ, डॉ. जीन दि मायर यांनी असा सिद्धांत मांडला की लँगरहॅन्सची बेटे ग्लुकोज नियंत्रित करणारे संप्रेरक तयार करत असावीत. लॅटिन भाषेमध्ये 'इन्सुला' या शब्दाचा अर्थ बेट असा होतो. त्यामुळे त्यांनी या अज्ञात संप्रेरकाला सर्वप्रथम 'इन्सुलिन' असे नाव दिले. पुढे, १९१६ मध्ये ब्रिटिश फिजिशियन सर एडवर्ड शार्पेशेफर यांनीसुद्धा स्वतंत्रपणे त्या अज्ञात संप्रेरकाला 'इन्सुलिन' हेच नाव दिले. या अज्ञात संप्रेरकाला 'इन्सुलिन' असे नाव बेल्जियन डॉ. जीन दि मायर यांनी पूर्वीच, म्हणजे १९०९ मध्ये दिलेले होते याची सर एडवर्ड शार्पेशेफर यांना त्या वेळी कल्पनाही नव्हती. त्यानंतर या इन्सुलिन नामक संप्रेरकाला स्वादुपिंडातल्या रसांमधून वेगळे काढण्याची आणि त्यायोगे मधुमेहावर रामबाण उपाय शोधण्याची जणू एक स्पर्धाच जगभरातील संशोधकांमध्ये सुरू झाली. पण जगभरातील अनेक संशोधकांनी स्वादुपिंडाचा अर्क काढून मधुमेहीवर उपचार शोधण्याचा प्रयत्न सुरू ठेवला असला तरीही त्यापैकी कोणालाच मधुमेह-विरोधी पदार्थ वेगळा करण्यात बराच काळ यश मिळाले नाही.

विसाव्या शतकाच्या सुरुवातीला विविध देशांमधील शास्त्रज्ञ स्वादुपिंडातील तो अज्ञात पदार्थ शोधण्यासाठी जे प्रयोग करत राहिले, ते सर्व प्रयोग मुख्यत्वे कुत्र्यांवर केले जात असत. यामध्ये निरोगी कुत्र्यांवर शस्त्रक्रिया करून त्यांचे स्वादुपिंड काढून टाकून त्यांना मधुमेही रुग्ण बनवले जायचे. त्यानंतर अन्य निरोगी कुत्र्यांच्या स्वादुपिंडातील अर्क काढून, तो या मधुमेही कुत्र्यांच्या शरीरामध्ये सोडला जात असे. सुरुवातीच्या प्रयोगांमध्ये तो अर्क तोंडावाटे दिला जात असल्यामुळे मधुमेहाची लक्षणे दूर होत नसत. त्यावरून संशोधकांच्या असे लक्षात आले, की पचनक्रियेमध्ये या अर्कामधील मधुमेहविरोधी पदार्थ नष्ट होत असावा. त्यानंतर केल्या गेलेल्या पुढील प्रयोगांमधे, मधुमेही कुत्र्यांच्या शिरेमध्ये इंजेक्शन देऊन स्वादुपिंडाचा अर्क देण्याची सुरुवात झाली. तरीही हे सगळे प्रयोग पूर्णपणे फसले. त्याला कारणही तसेच होते. स्वादुपिंडामधे इन्सुलिन जसे तयार होते तसेच अन्नपचनासाठी पाचक रसही तयार होतात. स्वादुपिंडाच्या अर्कामध्ये असलेला पाचक रस इन्सुलिनला पचवून टाकत असे. त्यामुळे त्यातील इन्सुलिन निष्प्रभ ठरत असे. अशा या प्रयोगांच्या मालिकेमध्ये अक्षरशः शेकडो कुत्र्यांना जंतुसंसर्ग होऊन ती दगावली.

मधुमेहावर मात करण्यासाठी अनेक शास्त्रज्ञ दोन-अडीच शतके प्रयत्न करत होते. परंतु, स्वादुपिंडाच्या अर्कामधून प्रत्यक्षात इन्सुलिन वेगळे करणे आणि डायबेटिसच्या रुग्णामध्ये ते इन्सुलिन वापरून डायबेटिसवर रामबाण उपाय शोधण्याचे श्रेय मात्र कॅनडातील फ्रेडरिक बंटिंग आणि चार्ल्स बेस्ट या तरुण डॉक्टर जोडगोळीला मिळाले. त्याबाबत आपण पुढील भागामध्ये जाणून घेऊ.

– डॉ. स्वाती बापट
swateebapat@gmail.com



एकविसाव्या शतकातील इंधने

शरद काळे

'हायड्रोजन हा ऊर्जेचा जन्मदाता नाही; तो ऊर्जेचा दूत आहे. सौर, पवन किंवा अणुऊर्जेतून मिळालेली ऊर्जा हायड्रोजनच्या रूपाने साठवता, वाहून नेता आणि आवश्यक त्या ठिकाणी पुन्हा वापरता येते.'

ज्या उद्‌गमापासून आपल्याला मूळ ऊर्जा मिळते, त्याला ऊर्जा-स्रोत म्हणता येईल. उदाहरणार्थ, सूर्य हा सौरऊर्जा स्रोत आहे. सौरऊर्जा, पवनऊर्जा, आणि अणुऊर्जा, हे सर्व ऊर्जाप्रकार मूळ स्रोतांपासून मिळणारी ऊर्जा आपल्याला पुरवतात. या स्रोतांमध्ये ऊर्जा आधीपासून उपलब्ध असते. आपण ती काढून वापरतो. कोळसा, पेट्रोल आणि इतर पेट्रोलियम पदार्थ हेदेखील एका अर्थाने ऊर्जा-वहन करणारी माध्यमे आहेत. त्यांच्यामध्येही सूर्यापासून वनस्पतींमध्ये साठलेली प्राचीन रासायनिक ऊर्जा लाखो वर्षांच्या भूवैज्ञानिक प्रक्रियेत साठलेली आहे. म्हणून 'ऊर्जादूत' ही संकल्पना फक्त हायड्रोजनपुरतीच मर्यादित नाही. कोळसा जळतो, पेट्रोल जळते आणि त्यातून ऊर्जा मिळते; त्याचप्रमाणे हायड्रोजनही जळतो आणि ऊर्जा देतो. मग हायड्रोजनला 'ऊर्जादूत' का म्हणायचे? कारण कोळसा किंवा पेट्रोल आपल्याला निसर्गात ऊर्जा-साठ्याच्या रूपात मिळतात; हायड्रोजन मात्र पृथ्वीवर मुक्त स्वरूपात जवळजवळ उपलब्ध नाही. पाणी किंवा अन्य संयुगांमधून तो वेगळा करण्यासाठी आधी ऊर्जा खर्च करावी लागते. त्यामुळे सौर, पवन, अणुऊर्जा अशा स्रोतांपासून मिळालेली ऊर्जा हायड्रोजनच्या रासायनिक स्वरूपात साठवून ती दुसऱ्या ठिकाणी नेणे आणि तेथे पुन्हा उपयोगात आणणे शक्य होते. या अर्थाने हायड्रोजन हा ऊर्जेचा 'दूत' आहे आणि वापराच्या वेळी तो प्रत्यक्ष इंधन म्हणून काम करतो.'

म्हणजे हायड्रोजनच्या दोन भूमिका असतात. हायड्रोजन हे वापरायच्या ठिकाणी इंधन असून, व्यापक ऊर्जाव्यवस्थेत ऊर्जावाहक म्हणून कार्य करते. हायड्रोजन नैसर्गिकरीत्या हवेत किंवा इतरत्र नसतो, असे नसते पण 'पृथ्वीवर मुक्त H_2 स्वरूपात मोठ्या प्रमाणावर उपलब्ध नाही' असे म्हणणे वैज्ञानिकदृष्ट्या योग्य आहे. कारण काही नैसर्गिक प्रक्रियांमधून मुक्त हायड्रोजन निर्माण होतो, पण तो मोठ्या प्रमाणावर सहज उपलब्ध होऊ शकणारा ऊर्जासाठा नाही. उदाहरणार्थ, सौर ऊर्जा → वीज → electrolyser → H_2

आता सूर्याची ऊर्जा हायड्रोजनच्या रासायनिक बंधांमध्ये साठली आहे.

नंतर

H_2 • → विद्युतघट → वीज → मोटार

अशा प्रकारे हायड्रोजन सौरऊर्जेचा वाहक आणि साठवणूकमाध्यम बनतो. धरणात साठवून ठेवलेले पाणी हाही ऊर्जेचा स्रोत आहे. वीज निर्माण करण्यासाठी धरणातून पाणी खाली सोडले जाते. त्या पाण्याला आपण ऊर्जा-साठा/वाहक म्हणून वापरतो.

हायड्रोजन पृथ्वीवर प्रामुख्याने पाणी (H_2O), नैसर्गिक वायू इत्यादी संयुगांमध्ये बंदिस्त असतो. पाण्यापासून हायड्रोजन वेगळा करण्यासाठी आपल्याला विद्युतऊर्जा पुरवावी लागते: म्हणजे हायड्रोजन तयार करण्यासाठी आधी ऊर्जा खर्च करावी लागते. नंतर हा हायड्रोजन साठवून ठेवता येतो आणि जिथे गरज आहे तिथे नेऊन त्यातून पुन्हा ऊर्जा मिळवता येते. हायड्रोजनमध्ये आपण बाहेरून दिलेली ऊर्जा रासायनिक स्वरूपात साठवतो. याचे एक साधे सोपे उदाहरण म्हणजे बॅटरी. बॅटरी स्वतः ऊर्जा-स्रोत नाही. आपण बॅटरी प्रभारित करण्यासाठी वीज वापरतो. ती वीज बॅटरीमध्ये रासायनिक ऊर्जेच्या स्वरूपात साठते. नंतर बॅटरी ती ऊर्जा पुन्हा विद्युतऊर्जेच्या रूपात देते. हायड्रोजनची कल्पना काहीशी अशीच आहे.

वीज → हायड्रोजन → पुन्हा ऊर्जा

म्हणूनच हायड्रोजनला 'ऊर्जेचा दूत' (energy carrier) म्हणणे अत्यंत समर्पक आहे. हायड्रोजन हा ऊर्जास्रोत नसून ऊर्जा-वहन करणारे माध्यम (energy carrier) आहे. पाण्यातून हायड्रोजन वेगळा करण्यासाठी आधी ऊर्जा खर्च करावी लागते. त्यामुळे 'हायड्रोजन हे इंधन' म्हणण्यापेक्षा

'हायड्रोजन-आधारित ऊर्जा व्यवस्था' असे म्हणणे अधिक अचूक आहे.

हायड्रोजन : भविष्यातील इंधन/ऊर्जेचा नवा वाहक : मानवाच्या ऊर्जेच्या इतिहासाकडे पाहिले तर लाकूड, कोळसा, खनिजतेल आणि नैसर्गिक वायू या क्रमाने आपण अधिकाधिक ऊर्जा-सधन इंधनांकडे गेलो. परंतु या प्रगतीची किंमत पृथ्वीला मोजावी लागली-वायुप्रदूषण, हरितगृह वायू, हवामानबदल आणि जीवाश्मइंधनांच्या मर्यादित साठ्यांच्या रूपाने. त्यामुळे एकविसाव्या शतकातील सर्वांत मोठ्या प्रश्नांपैकी एक प्रश्न असा आहे, की मोठ्या प्रमाणावर ऊर्जा उपलब्ध करून देताना पृथ्वीचे पर्यावरण कसे सुरक्षित ठेवायचे? या प्रश्नाच्या उत्तरात सौर, पवन, जल, अणुऊर्जा, जैवऊर्जा, बॅटरी आणि त्याबरोबरच हायड्रोजन या ऊर्जास्रोतांचे नाव सातत्याने पुढे येते. हायड्रोजनबाबतचे आकर्षण अगदी सहज समजण्यासारखे आहे. त्याचे ऑक्सिजनबरोबर ज्वलन केले तर,

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ + ऊर्जा

म्हणजेच अंतिम उत्पादन म्हणून पाणी मिळते. इंधन घटामध्येही हायड्रोजन आणि ऑक्सिजन यांच्या विद्युत-रासायनिक अभिक्रियेतून वीज निर्माण होते आणि उपउत्पादन म्हणून पाणी तयार होते. त्यामुळे वाहनाच्या टाकीतून कार्बन डायऑक्साइड, कार्बन मोनॉक्साइड किंवा काजळी बाहेर पडत नाही.

हायड्रोजन : ऊर्जास्रोत नव्हे, ऊर्जावहन करणारे माध्यम : आपण पेट्रोल जाळतो तेव्हा पेट्रोलमध्ये आधीच साठवलेली रासायनिक ऊर्जा मुक्त होते. परंतु पाण्यातील हायड्रोजन आणि ऑक्सिजन यांना पुन्हा वेगळे करण्यासाठी ऊर्जा द्यावी लागते.

पाण्याचे विद्युत अपघटन – electrolysis – यामध्ये बाहेरून वीज देऊन पुढील प्रक्रिया होते.

$2H_2O$ + विद्युतऊर्जा $\rightarrow 2H_2 + O_2$

हायड्रोजन म्हणजे एक प्रकारची ऊर्जा-बँक आहे. आपण सौर किंवा पवन ऊर्जेपासून मिळालेली वीज वापरून हायड्रोजन तयार करू शकतो; नंतर तो हायड्रोजन जाळून किंवा इंधनघटामध्ये वापरून पुन्हा ऊर्जा मिळवू शकतो. यामुळे हायड्रोजनचे खरे महत्त्व समजते. वीज थेट वापरणे शक्य असेल तेथे हायड्रोजन वापरणे अनेकदा ऊर्जा-दृष्ट्या अनावश्यक ठरू शकते; पण जिथे वीज साठवणे, वाहून नेणे किंवा थेट वापरणे कठीण आहे, तिथे हायड्रोजन अत्यंत महत्त्वाचा ठरू शकतो.

हायड्रोजनचे सर्वांत मोठे आकर्षण : कार्बनविरहित वापर : हायड्रोजनच्या वापराचे सर्वांत मोठे वैशिष्ट्य म्हणजे त्याच्या वापरामध्ये कार्बनचा दुरान्वयेदेखील संबंध नसतो. पेट्रोल किंवा डिझेल जाळल्यावर मुख्यतः CO_2 तयार होतो. नैसर्गिक वायू जाळल्यावरही CO_2 निर्माण होतो. पण शुद्ध हायड्रोजन आणि ऑक्सिजन यांच्या अभिक्रियेत कार्बनच नसल्यामुळे CO_2 तयार होण्याचा प्रश्नच येत नाही. यामुळे विशेषतः पुढील क्षेत्रांसाठी हायड्रोजन आकर्षक आहे-

- पोलाद उद्योग
- अमोनिया आणि खतनिर्मिती
- पेट्रोलियम रिफायनिंग
- रसायन उद्योग
- दीर्घ पल्ल्याची जड वाहतूक
- जहाजवाहतूक
- काही प्रकारची विमानइंधने
- दीर्घकालीन ऊर्जा साठवण
- काही औद्योगिक उच्च-तापमान प्रक्रिया

आजच्या घडीला जगात वापरला जाणारा बहुतांश हायड्रोजन रसायन व रिफायनिंग उद्योगात वापरला जातो. IEAच्या सन २०२६च्या ग्लोबल हायड्रोजन रिव्ह्यूनुसार सन २०२५मध्ये जागतिक हायड्रोजन मागणी १० कोटी टनांच्या पुढे गेली; परंतु नवीन ऊर्जा-अर्जांपेक्षा पारंपरिक औद्योगिक वापरच त्यात प्रचंड मोठा आहे. म्हणजेच हायड्रोजनचे भवितव्य शून्यातून सुरू होणार नाही; त्याचा औद्योगिक पाया आधीच अस्तित्वात आहे.

हायड्रोजन 'स्वच्छ' आहे का? : इथेच सर्वांत मोठा गैरसमज दूर करणे आवश्यक आहे. हायड्रोजनचे नाव 'ग्रीन' किंवा 'क्लीन' आहे म्हणून तो आपोआप पर्यावरणपूरक होत नाही.

आज जगातील हायड्रोजन उत्पादनाचा मोठा भाग नैसर्गिक वायू आणि कोळशापासून केला जातो. IEA अनुसार सन २०२५मध्ये कमी उत्सर्जनाने निर्माण केलेला हायड्रोजन जवळपास दहा लाख टन इतकाच होता, म्हणजे जागतिक उत्पादनाच्या १% पेक्षाही कमी; जीवाश्मइंधनांवर आधारित उत्पादन अजूनही याबाबतीत वर्चस्व राखते. त्यामुळे हायड्रोजन ऊर्जेला या स्थितीत तरी स्वच्छ म्हणता येणार नाही. म्हणून हायड्रोजनचे पर्यावरणीय मूल्यमापन करताना 'हायड्रोजन वापरल्यावर काय निर्माण होते?' यावर नव्हे तर 'तो तयार करताना प्रदूषण किती झाले?' हा प्रश्न विचारावा लागतो.

हायड्रोजनचे विविध रंग : हायड्रोजनचे 'रंग' प्रत्यक्ष त्याचे रंग नसून त्याच्या उत्पादनपद्धतीचे संकेत आहेत.

- **ग्रे हायड्रोजन :** नैसर्गिक वायूपासून steam methane reforming करून हायड्रोजन तयार

केला जातो. त्यातून मोठ्या प्रमाणात CO_2 बाहेर पडतो.

- ब्ल्यू हायड्रोजन : ग्रे हायड्रोजनप्रमाणेच जीवाश्मइंधन वापरले जाते; मात्र निर्माण झालेला CO_2•capture करून साठवण्याचा प्रयत्न केला जातो.
- ग्रीन हायड्रोजन : नवीकरणीय ऊर्जेपासून मिळालेल्या विजेने पाण्याचे electrolysis केले जाते. त्यामुळे उत्पादनप्रक्रियेतील कार्बनउत्सर्जन अत्यल्प असू शकते.

भारताच्या राष्ट्रीय हरित हायड्रोजन मिशनमध्ये प्रामुख्याने अशाच हरित हायड्रोजन परिसंस्थेला प्रोत्साहन देण्यात येत आहे. भारताचे लक्ष्य सन २०३०पर्यंत किमान ५० लाख टन प्रती वर्ष हरित हायड्रोजन उत्पादन, त्यासाठी सुमारे १२५ गिगावॉट अतिरिक्त नूतनक्षम ऊर्जानिर्मिती, रुपये ८ लाख कोटींपेक्षा जास्त गुंतवणूक आणि सुमारे ६ लाख रोजगार निर्माण करण्याचे आहे.

पाण्यापासून हायड्रोजन : म्हणजे पाणीच आपले इंधनसाठे आहेत का? हा विचार आकर्षक आहे, पण अपुरा आहे. पृथ्वीवर पाणी मुबलक आहे. परंतु समुद्राचे पाणी थेट electrolyserमध्ये टाकून मोठ्या प्रमाणावर स्वस्त हायड्रोजन मिळेल असे नाही. शुद्धीकरण, क्षार काढून टाकणे, electrolysis आणि त्यानंतर दाबाखाली साठवणूक या प्रत्येक टप्प्यावर ऊर्जा आणि भांडवली खर्च लागणार आहे.

विशेषतः कोरड्या प्रदेशात मोठ्या प्रमाणावर हरित हायड्रोजन तयार करायचा असेल तर पाण्याची उपलब्धता हा स्थानिक पर्यावरणीय प्रश्न बनू शकतो. त्यामुळे 'हायड्रोजन म्हणजे पाण्यापासून अमर्यादित ऊर्जा' हे समीकरण चुकीचे आहे. यातील योग्य समीकरण असे आहे :

नवीकरणीय ऊर्जा + पाणी → हायड्रोजन → पुन्हा ऊर्जा

आणि प्रत्येक रूपांतरणात काही ऊर्जा गमावली जाते.

हायड्रोजनची ऊर्जा-सघनता : एक विलक्षण वैशिष्ट्य : हायड्रोजनचा एक मोठा फायदा असा आहे की त्याची वस्तुमान विशिष्ट ऊर्जा (mass specific energy) म्हणजे प्रति किलोग्रॅम ऊर्जा-सामर्थ्य अत्यंत जास्त आहे. सुमारे १ किलोग्रॅम हायड्रोजनमध्ये सुमारे १२० मेगाज्युल्स इतकी lower heating value energy असते. त्यामुळे वजनाच्या दृष्टीने तो पेट्रोलपेक्षा जवळपास तीनपट ऊर्जा-सघन आहे.

पण त्यामुळे इथे दुसरी अडचण येते – हायड्रोजनचे वजन कमी असले तरी त्याचे घनफळ खूप मोठे आहे. म्हणून किलोग्रॅम हायड्रोजन सामान्य तापमान आणि दाबावर ठेवायचा तर प्रचंड जागा लागेल.

यावर उपाय म्हणून हायड्रोजनवर उच्च दाब दिला जातो किंवा सुमारे -२५३°C तापमानापर्यंत थंड करून द्रवीभूत बनवले जाते. वाहनांमध्ये साधारणपणे ३५० किंवा ७०० बार दाबाच्या टाक्यांमध्ये हायड्रोजन साठवला जातो. भारत सरकारच्या ऊर्जा विभागानुसार FCEV मध्ये ७०० बारच्या आसपास साठवणूक ही सामान्य तांत्रिक पद्धत आहे. म्हणजे पेट्रोलच्या टाकीपेक्षा हायड्रोजनची साठवणूक व्यवस्था अधिक गुंतागुंतीची आहे.

हायड्रोजन साठवणुकीचे आव्हान : हायड्रोजनचा अणू अतिशय लहान असल्यामुळे तो काही पदार्थांमधून सहज पसरू शकतो. काही धातूंमध्ये हायड्रोजन embrittlement होऊ शकते. त्यामुळे पाइपलाइन, व्हॉल्व्ह, सील, टाकी आणि कॉम्प्रेसर यांच्या पदार्थ-विज्ञानाला विशेष महत्त्व आहे.

द्रवीभूत हायड्रोजन साठवणे आणखी कठीण असते. त्याला द्रवरूपात ठेवण्यासाठी अत्यंत कमी तापमान आवश्यक असते. त्यात रेफ्रिजरेशनसाठी अतिरिक्त ऊर्जा लागते आणि उष्णता आत शिरल्यामुळे दीर्घकाळ साठवताना boil-offची समस्या निर्माण होऊ शकते. म्हणूनच हायड्रोजनचे भवितव्य ठरवताना 'हायड्रोजन किती ऊर्जा देतो?' या प्रश्नाइतकाच महत्त्वाचा प्रश्न आहे–

'तो ज्या रूपात वापरायचा आहे त्या रूपात आणण्यासाठी किती ऊर्जा खर्च होते?'

हायड्रोजनची वाहतूक : आणखी एक मोठे आव्हान : पेट्रोल टँकरमध्ये सहज वाहून नेता येते. नैसर्गिक वायू पाइपलाइनमधून मोठ्या प्रमाणावर पाठवता येतो. पण हायड्रोजनसाठी अशी व्यवस्था उभी करणे अधिक कठीण आहे. हायड्रोजन वाहतुकीसाठी तीन प्रमुख मार्ग आहेत :

- दाबाखाली वाहतूक : उच्च दाबाच्या टाक्या किंवा पाइपलाइन वापरण्याची गरज असते.
- द्रवीभूत हायड्रोजन : अत्यंत कमी तापमानात द्रवरूपात वाहतूक.
- हायड्रोजन डेरिव्हेटिव्हज : हायड्रोजनचे अमोनिया, मिथेनॉल किंवा टोल्युनसारखे द्रवरूप सेंद्रिय वाहक (liquid organic hydrogen carriers) अशा पदार्थांमध्ये रूपांतर करून वाहतूक करणे. यातील अमोनिया विशेष महत्त्वाचे वाहक आहे कारण त्याची वाहतूक आणि साठवणूक हायड्रोजनपेक्षा तुलनेने अधिक विकसित आहे. गंतव्यस्थानी त्यातून पुन्हा हायड्रोजन वेगळा काढता येतो किंवा अमोनिया स्वतः इंधन म्हणून वापरता येतो. पण येथेही प्रत्येक अतिरिक्त रूपांतरणात ऊर्जा आणि खर्च वाढतो.

हायड्रोजन खरोखर स्फोटक आहे का? हायड्रोजनची ज्वलनशीलता ही गंभीर बाब आहे. त्याचे हवा-विषयक ज्वलनाचे प्रमाण विस्तृत आहे आणि त्याची ignition energy कमी आहे. त्यामुळे गळती झाल्यास योग्य वायुवीजन आणि गळतीशोधक प्रणाली अत्यंत महत्त्वाचे आहेत. परंतु 'हायड्रोजन म्हणजे अत्यंत धोकादायक स्फोटक पदार्थ' असा निष्कर्षही योग्य नाही पेट्रोल, एल.पी.जी., नैसर्गिक वायू यांनाही आग लागण्याचे आणि स्फोटाचे धोके आहेत. फरक एवढाच की हायड्रोजनचे गुणधर्म वेगळे आहेत. हायड्रोजन हवेपेक्षा खूप हलका असल्यामुळे गळती झाल्यावर तो वरच्या दिशेने वेगाने पसरतो. बंद जागेत त्याचे साठणे धोकादायक ठरू शकते. म्हणून हायड्रोजन अर्थव्यवस्थेचा पाया सुरक्षा-मानके, संवेदक, वायुवीजन, योग्य ती तांत्रिक साधने आणि प्रशिक्षित मनुष्यबळ यांवर असला पाहिजे.

हायड्रोजन वाहन : पेट्रोल कारचा खरा पर्याय? हायड्रोजनवर चालणारे वाहन म्हटले की दोन तंत्रज्ञानांचा विचार करावा लागतो.

१. हायड्रोजनवर चालणारे इंटर्नल कम्बशन इंजिन - यात हायड्रोजन थेट इंजिनमध्ये जाळला जातो.

२. इंधनघट विद्युत वाहन (Fuel Cell Electric Vehicle) : हायड्रोजन इंधनघटामध्ये विद्युत-रासायनिक अभिक्रियेत वापरला जातो आणि तयार झालेली वीज विद्युत मोटार चालवते. दुसरी पद्धत अधिक आकर्षक आहे.

विद्युतघटात पुढील अभिक्रिया घडते.

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ + ऊर्जा (विद्युत + उष्णता)

त्यामुळे इंधनघट विद्युतवाहन हे प्रत्यक्षात विद्युत वाहनच आहे, फक्त त्याची वीज मोठ्या बॅटरीमध्ये आधी साठवलेली नसते; ती हायड्रोजन विद्युतघटात प्रवासादरम्यान तयार होते.

इंधनघट विद्युत वाहनाचे फायदे : हायड्रोजन वाहनांची पुढील वैशिष्ट्ये फायदेशीर आहेत.

- इंधन पुन्हा पुन्हा भरण्याची प्रक्रिया तुलनेने जलद होऊ शकते;
- दीर्घ पल्ल्याच्या वाहतुकीसाठी योग्य ठरू शकते;
- बॅटरीवर चालणाऱ्या विद्युत वाहनापेक्षा मोठ्या बॅटरी पॅकची गरज कमी होते;
- जड वाहने, बस आणि ट्रक यांसाठी उपयोगी ठरू शकते;
- वापराच्या ठिकाणी टेलपाईप CO_2 उत्सर्जन आणि कणउत्सर्जन होत नाही.
- सन २०२५मध्ये जागतिक इंधनघट विद्युत वाहनांची संख्या सुमारे १३०००० झाली, असे IEAच्या सन २०२६च्या अहवालात नमूद केलेले आहे. सन २०२५मध्ये त्यात सुमारे २०% वाढ झाली, ज्यामध्ये चीनमधील हायड्रोजन ट्रक आणि दक्षिण कोरियातील प्रवासी मोटारगाड्या यांचा महत्त्वाचा वाटा होता.

मात्र यावरून हायड्रोजन कारने बॅटरीवर चालणाऱ्या विद्युतवाहनांवर मात केली आहे असे समजणे चुकीचे ठरेल.

हायड्रोजन कार विरुद्ध बॅटरीवर चालणारी विद्युतवाहने : या दोन प्रकारच्या वाहनांची तुलना करत असताना कदाचित सर्वांत महत्त्वाचा प्रश्न आहे असा आहे :

समजा सौरपॅनेलमधून १०० युनिट वीज मिळाली.

बॅटरीवर चालणाऱ्या विद्युत वाहनांमध्ये ही वीज साधारणपणे :

सौर → ग्रीड/प्रभारित करण्याची यंत्रणा → बॅटरी → मोटार

या मार्गाने जाते.

हायड्रोजन वाहनात :

सौर → इलेक्ट्रोलायझर → हायड्रोजन → वापर → साठवणूक → इंधनघट → मोटार

असे अनेक टप्पे येतात.

प्रत्येक टप्प्यात ऊर्जा गमावली जाते. त्यामुळे समान नूतनीकरणीय ऊर्जेपासून मिळणारे वाहन-किलोमीटर अंतर हे बॅटरीवर चालणाऱ्या विद्युतवाहनांमध्ये साधारणतः हायड्रोजन इंधनघटावर चालणाऱ्या वाहनापेक्षा अधिक असते. म्हणून छोटी, हलकी, शहरातील प्रवासी मोटारगाड्या चालवण्यासाठी हायड्रोजनपेक्षा बॅटरी अधिक तर्कसंगत ठरू शकते. पण ४० टन किंवा अधिक अवजड ट्रक, जहाजे, काही औद्योगिक उपकरणे किंवा दीर्घकाळ ऊर्जा साठवण यासाठी हे चित्र बदलू शकते.

हायड्रोजन कुठे सर्वाधिक उपयोगी ठरेल? हायड्रोजनचे खरे भविष्य कुठे दडलेले आहे याचा विचार करताना पुढील गोष्टी प्राधान्याने होण्याची अधिक शक्यता आहे.

- पोलाद उद्योग : कोळशाऐवजी हायड्रोजन वर आधारित क्षपण वापरल्यास लोखंडनिर्मितीतील CO_2 उत्सर्जन मोठ्या प्रमाणात कमी करता येईल.
- खतउद्योग : अमोनियानिर्मितीसाठी हायड्रोजन आवश्यक आहे. सध्या हा हायड्रोजन मुख्यतः जीवाश्मइंधनांपासून मिळतो. त्याऐवजी हरित हायड्रोजन वापरल्यास 'हरित अमोनिया' तयार होऊ शकतो.
- रिफायनरी : रिफायनिंगमध्ये हायड्रोजनचा मोठ्या प्रमाणात वापर आधीपासून होतो. त्यामुळे येथे ग्रे

हायड्रोजनच्या जागी हरित हायड्रोजन आणणे हा तुलनेने थेट डीकार्बनायझेशनसाठीचा मार्ग आहे.

- अवजड वाहतूक : लांब पल्ल्याचे ट्रक, बस आणि काही विशेष वाहने.
- जहाजवाहतूक : थेट हायड्रोजन, अमोनिया किंवा मिथेनॉल यांसारख्या हायड्रोजनआधारित इंधनांचा वापर भविष्यात वाढू शकतो.
- विमानवाहतूक : विमानात थेट हायड्रोजन वापरणे तांत्रिकदृष्ट्या अधिक कठीण आहे; परंतु हायड्रोजन आधारित संश्लेषित इंधनांचा किंवा भविष्यात द्रवरूप हायड्रोजन यांचा विचार केला जात आहे.
- ऊर्जासाठवण : सौर आणि पवनऊर्जा सतत उपलब्ध नसते. अतिरिक्त वीज हायड्रोजनमध्ये रूपांतरित करून काही काळ साठवता येऊ शकते. आवश्यकता भासल्यास हायड्रोजन पुन्हा वीज निर्मितीसाठी वापरता येतो.

हायड्रोजनची सर्वांत मोठी मर्यादा : ऊर्जा रूपांतरणांची मालिका : हायड्रोजन इंधनाच्या मर्यादांची चर्चा केल्याशिवाय लेख अपूर्ण राहील. हायड्रोजनच्या संपूर्ण अर्थशास्त्राचे गमक आहे.

वीज → हायड्रोजन → वीज असे केले तर दोनदा बदल होतो. प्रत्येक टप्प्यात ऊर्जा कमी होते.

म्हणून थेट वीज वापरता येत असेल तर ती थेट वापरणे अधिक कार्यक्षम ठरेल. हायड्रोजनचा वापर तिथेच करणे अधिक अर्थपूर्ण असेल जिथे : थेट विद्युतीकरण अवघड, महाग किंवा तांत्रिकदृष्ट्या अशक्य आहे. हा नियम लक्षात ठेवला तर हायड्रोजनविषयीचे अनेक अतिरंजित दावे आपोआप बाजूला पडतात.

आजची वास्तविक परिस्थिती – स्वप्न आणि वास्तव यांतील अंतर : हायड्रोजनबद्दल गेल्या काही वर्षांत प्रचंड उत्साह निर्माण झाला. हजारो प्रकल्प जाहीर झाले. परंतु घोषणा आणि प्रत्यक्ष प्रकल्प यात मोठे अंतर आहे. IEAच्या वैश्विक हायड्रोजन सन २०२६च्या आढाव्यानुसार (रिव्ह्यू) सन २०३०साठी जाहीर केलेल्या उत्सर्जन कमी करणाऱ्या हायड्रोजन प्रकल्पांची संभाव्य क्षमता सुमारे २७ मेट्रिक टनापर्यंत आहे; परंतु प्रत्यक्ष गुंतवणूक झालेल्या प्रकल्पांवर आधारित क्षमता ४० लाख टनापेक्षा थोडीच अधिक आहे, आणि काही अतिरिक्त प्रकल्प पुढे आले तर ती सुमारे ६० लाख टनांपर्यंत जाऊ शकते. अनेक प्रकल्प प्रलंबित आहेत किंवा रद्द झाले आहेत.

यातून एक महत्त्वाचा धडा शिकता येईल : हायड्रोजनला इंधन म्हणून भविष्य निश्चित आहे असे म्हणणे जितके अतिशयोक्तीचे आहे, तितकेच 'हायड्रोजन अपयशी ठरत आहे' असे म्हणणेही चुकीचे आहे. तंत्रज्ञान विकसित होत आहे; पण अर्थशास्त्र, पायाभूत सुविधा आणि मागणी यांचा वेग अजून तितका वाढलेला नाही.

भारतासाठी हायड्रोजनचे विशेष महत्त्व : भारताकडे सौरऊर्जेची प्रचंड क्षमता आहे. भविष्यात स्वस्त सौर वीज उपलब्ध झाली आणि इलेक्ट्रोलायझरसची किंमत कमी झाली तर हरित हायड्रोजन निर्मितीसाठी भारताला महत्त्वाची संधी मिळू शकते.

भारताच्या राष्ट्रीय हरित हायड्रोजन मिशनचे उद्दिष्ट भारताला हरित हायड्रोजनचे उत्पादन, वापर आणि निर्यात यांचे जागतिक केंद्र बनवणे आहे. या मोहिमेची सन २०३०पर्यंतची प्रमुख उद्दिष्टे आहेत :

- ५० लाख मेट्रिक टन/प्रतिवर्ष हरित हायड्रोजनचे उत्पादन;
- सुमारे १२५ गिगावॉट नूतनीकरणक्षम ऊर्जेपासून मिळवणे;
- आठ लाख कोटी रूपयांपेक्षा जास्त गुंतवणूक;
- सहा लाखांपेक्षा अधिक रोजगार;
- जवळपास ५ कोटी मेट्रिक टन वार्षिक CO_2 उत्सर्जन टाळण्याची अपेक्षा.

सन २०२६मध्ये भारताने हायड्रोजन क्षेत्रातील कौशल्यविकासासाठीही प्रशिक्षण, त्यासाठी लागणारे कौशल्यविकास व कौशल्य पुनर्निर्माण कार्यक्रम पुढे नेले आहेत. कारण इलेक्ट्रोलायझर, इंधन घट, साठवणूक, प्रगत पदार्थ आणि हायड्रोजनची सुरक्षित हाताळणी व यासाठी पारंपरिक ऊर्जा क्षेत्रापेक्षा वेगळे कौशल्य लागणार आहे.

पण भारतासमोरही आव्हाने आहेत

भारताने हरित हायड्रोजन मोठ्या प्रमाणावर तयार करायचा असेल तर तीन गोष्टी स्वस्त आणि मुबलक असणे आवश्यक आहे :

स्वच्छ वीज + पाणी + इलेक्ट्रोलायझर क्षमता

त्याबरोबर साठवणूक, पाईपलाइन, वाहतूक, बंदरे किंवा विमानतळ, अमोनिया रूपांतरण, जागोजागी इंधन वितरण प्रणाली आणि सुरक्षा यंत्रणा उभारावे लागेल. सर्वांत महत्त्वाचे म्हणजे ग्राहक निर्माण करावा लागेल. हायड्रोजन तयार करून ठेवला आणि कोणी विकतच घेतला नाही तर प्रकल्प आर्थिकदृष्ट्या टिकणार नाही. IEAच्या सन २०२६च्या अहवालातही कमीत कमी उत्सर्जन करणाऱ्या हायड्रोजन इंधनाच्या क्षेत्रातील सर्वांत मोठ्या अडथळ्यांपैकी एक 'मागणी निर्माण करणे' असल्याचे स्पष्ट केले आहे. सन २०२५मधील नवीन विक्री करारनाम्यांपैकी केवळ सुमारे

२०% निश्चित स्वरूपात होते.

हायड्रोजनचा आणखी एक पर्यावरणीय प्रश्न : 'हायड्रोजन जळल्यावर पाणी तयार होते, म्हणून तो पूर्णपणे प्रदूषणमुक्त आहे' हे विधान थोडे अपूर्ण आहे. हायड्रोजन हवा असलेल्या वातावरणात उच्च तापमानावर जाळल्यास हवेत असलेल्या नायट्रोजन आणि ऑक्सिजनपासून नायट्रोजन ऑक्साइड्स NOx तयार होऊ शकतात. त्यामुळे हायड्रोजन ज्वलन इंजिन पूर्णपणे उत्सर्जनमुक्त आहे असे म्हणता येणार नाही. इंधनघटात मात्र अशी उच्च-तापमान ज्वलनप्रक्रिया नसल्यामुळे स्थानिक वायुप्रदूषण अत्यल्प असते.

'हायड्रोजन अर्थव्यवस्था' म्हणजे नेमके काय?

हायड्रोजन अर्थव्यवस्था म्हणजे फक्त पेट्रोलऐवजी हायड्रोजन कार अशी साधी कल्पना नाही.

ती एक संपूर्ण साखळी आहे :

सौर/पवन/अणुऊर्जा

↓

वीज

↓

इलेक्ट्रोलायझर

↓

H_2

↓

दाब/द्रवीकरण/अमोनिया रूपांतरण

↓

साठवणूक आणि वाहतूक

↓

उद्योगव्यवसाय/ट्रक/जहाजे/इंधनघट/ऊर्जाप्रकल्प

↓

पाणी + ऊर्जा

या साखळीतील प्रत्येक पायरी कार्यक्षम, सुरक्षित आणि आर्थिकदृष्ट्या व्यवहार्य झाली तरच हायड्रोजन अर्थव्यवस्था यशस्वी होईल.

पुढील ५० वर्षांत काय घडू शकते? : एक गोष्ट आता स्पष्ट दिसू लागली आहे - भविष्यात एकच इंधन संपूर्ण जगाची ऊर्जा गरज भागवेल अशी शक्यता पूर्वी कधीच नव्हती आणि भविष्यातदेखील तशी शक्यता कमी आहे. भविष्यात कदाचित अशी मिश्र ऊर्जा व्यवस्था असेल :

सौर + पवन + जल + अणुऊर्जा + बॅटरी + जैवऊर्जा + हायड्रोजन

यात प्रत्येकाचे स्वतःचे क्षेत्र असेल.

घरासाठी – वीज

शहरातील कारसाठी – बॅटरी

लांब पल्ल्याच्या काही वाहनांसाठी – बॅटरी/हायड्रोजन

पोलादासाठी – हायड्रोजन

खतासाठी – हरित हायड्रोजन

जहाजांसाठी – हायड्रोजन/अमोनिया/मिथेनॉल

हवाई वाहतुकीसाठी – शाश्वत इंधने/हायड्रोजन आधारित इंधने

ग्रीड समतोल राखण्यासाठी – बॅटरी + दाबाखालील हायड्रोजन + सहजगत्या वापरता येणारा हायड्रोजन, दीर्घकालीन/हंगामी साठवणुकीसाठी – हायड्रोजनची भूमिका वाढू शकते.

म्हणून भविष्यातील प्रश्न 'हायड्रोजन की विद्युतऊर्जा?' असा नसून, 'कोणत्या कामासाठी कोणत्या ऊर्जावाहकाचा वापर सर्वाधिक कार्यक्षम, स्वस्त आणि पर्यावरणपूरक आहे?' असा असेल.

थोडक्यात सांगायचे झाले तर हायड्रोजन हा चमत्कार नक्की नाही, पण भविष्यातील अत्यंत महत्त्वाचे इंधन असू शकते. हायड्रोजनबद्दल दोन टोकाची मते आहेत.

- हायड्रोजन हे भविष्यातील सर्व समस्यांचे उत्तर आहे.
- हायड्रोजन फार महाग, धोकादायक आणि अकार्यक्षम असल्यामुळे त्याला भविष्य नाही.

दोन्ही मते काही प्रमाणात बरोबर व काही प्रमाणात चुकीची आहेत. हायड्रोजनमध्ये काही विलक्षण गुण आहेत. त्याच्या वापरातून कार्बनयुक्त पदार्थ निर्माण होत नाहीत; तो उच्च ऊर्जा-सघन आहे; त्याला विविध स्वरूपात साठवता येते; नवीकरणीय ऊर्जेला औद्योगिक इंधनात रूपांतरित करता येते; आणि कठीण औद्योगिक क्षेत्रांचे डीकार्बनायझेशन करण्याची त्याच्यात मोठी क्षमता आहे. पण त्याच्या मर्यादाही तितक्याच वास्तविक आहेत– उत्पादनासाठी ऊर्जा, पाण्याची गरज, इलेक्ट्रोलायझरची किंमत, कमी आकारमान ऊर्जाघनता, उच्च-दाब साठवणूक, अत्यंत कमी तापमानातील द्रवीकरण, वाहतूक, गळती, सुरक्षितता, इन्फ्रास्ट्रक्चर आणि सर्वांत महत्त्वाचे म्हणजे खर्च. आज, सन २०२६ मध्ये, कमी उत्सर्जन करणारे हायड्रोजन इंधन अजूनही जागतिक हायड्रोजन उत्पादनाचा १% पेक्षाही कमी भाग आहे. IEAच्या ताज्या आढाव्यानुसार उत्पादन वाढत असले तरी सन २०३०ची अनेक उद्दिष्टे सध्याच्या गतीने साध्य होणे कठीण दिसते. म्हणून पुढील पन्नास वर्षांचा वैज्ञानिक अंदाज असा मांडता येईल :

हायड्रोजन पेट्रोल, डिझेल किंवा विजेची जागा सर्वत्र घेणार नाही. पण ज्या क्षेत्रांमध्ये थेट विद्युतीकरण कठीण

आहे, त्या क्षेत्रांमध्ये तो एक अत्यंत महत्त्वाचा ऊर्जावाहक ठरू शकतो. कदाचित हायड्रोजनचे सर्वांत मोठे योगदान वाहनाच्या इंधनाच्या टाकीत नसून मानवाच्या औद्योगिक संस्कृतीला जीवाश्मकार्बनपासून मुक्त करण्याच्या प्रक्रियेत असेल. हायड्रोजनची खरी ओळख म्हणून मग एक वाक्य पुरेसे ठरेल– 'हायड्रोजन हा ऊर्जेचा अंतिम स्रोत नाही; परंतु स्वच्छ ऊर्जेला जिथे थेट पोहोचवणे कठीण आहे, तिथे ती ऊर्जा पोहोचवणारा तो एक महत्त्वाचा दूत आहे.'

संदर्भसूची

- International Energy Agency (IEA), Global Hydrogen Review 2026 - जागतिक hydrogen demand, production, low-emissions hydrogen, projects, costs आणि infrastructure यांचा सर्वांत अलीकडील व्यापक आढावा.
- IEA, Global Hydrogen Review 2026 - Demand - 2025 मधील जागतिक मागणी, FCEV, industry, reefining, shipping आणि aviation संदर्भ.
- IEA, Global Hydrogen Review 2025 - 2024 मधील उत्पादन, low-emissions hydrogen आणि गुंतवणुकीतील वाढीचा आढावा.
- IEA, Hydrogen - Energy System - hydrogen energy system आणि तंत्रज्ञानावरील मूलभूत माहिती.
- Ministry of New and Renewable Energy (MNRE), Government of India, National Green Hydrogen Mission - भारताची green hydrogen धोरणे आणि उद्दिष्टे.
- Government of India, National Green Hydrogen Mission - Mission Document - २०३० पर्यंत ५० लाख मेट्रिक टन उत्पादन आणि १२५ GW नूतनक्षम ऊर्जेची क्षमता वाढवण्यासाठीची उद्दिष्टे.
- MNRE, Green Hydrogen Certification Scheme of India - हरित हायड्रोजनची प्रमाणन व्यवस्था. Ministry of New and Renewable Energy
- U.S. Department of Energy, Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office - hydrogen production, storage, delivery, fuel cells आणि safety संदर्भातील तांत्रिक माहिती. U.S. Department of Energy, Hydrogen Storage Technology Roadmap - hydrogen storage आणि वाहनांमधील high-pressure storageची आव्हाने. The Department of Energy's Energy.gov
- IEA, The Future of Hydrogen - hydrogenच्या जागतिक ऊर्जा व्यवस्थेतील संभाव्य भूमिकेचा मूलभूत आढावा.

इथेनॉलमिश्रित इंधनाचे शास्त्रीय मूल्यमापन

इथेनॉलमिश्रित इंधन : इथेनॉलमिश्रित इंधन (Ethanol-blended fuel) म्हणजे पेट्रोलमध्ये ठरावीक प्रमाणात इथेनॉल मिसळून तयार केलेले वाहनइंधन. उदाहरणार्थ, ई२० पेट्रोल म्हणजे : ८०% पेट्रोल + २०% इथेनॉल. इथेनॉल हे प्रामुख्याने ऊस, मका, तांदूळ, खराब धान्य इत्यादी जैविक स्रोतांपासून किण्वन प्रक्रियेने तयार केलेले अल्कोहोल आहे. इथेनॉल पेट्रोलमध्ये का मिसळतात त्याची तीन महत्त्वाची कारणे अशी सांगता येतील :

- **पेट्रोलची गरज कमी करण्यासाठी :** इथेनॉल देशातच तयार करता येत असल्याने आयात होणाऱ्या पेट्रोलियमवरील अवलंबित्व त्या प्रमाणात कमी होऊ शकते.
- **कार्बनउत्सर्जन कमी करण्यासाठी :** वनस्पतींनी वाढताना वातावरणातील CO_2 शोषलेला असतो. त्यामुळे इथेनॉलचा जीवनचक्रातील कार्बन परिणाम पेट्रोलपेक्षा कमी असू शकतो– मात्र हे इथेनॉल कशापासून आणि कसे तयार केले यावर अवलंबून असते.
- **ऑक्टेन संख्या वाढवण्यासाठी :** इथेनॉलची ऑक्टेनची संख्या चांगली असल्याने पेट्रोलच्या अँटि–नॉक गुणधर्मात सुधारणा होते.

पेट्रोलची रासायनिक संज्ञा : पेट्रोल हा एकच रासायनिक पदार्थ नसून अनेक हायड्रोकार्बनचे मिश्रण आहे. त्याची नेमकी रचना कच्चे तेल, रिफायनरी प्रक्रिया आणि देशातील इंधन मानकांनुसार बदलते.

सर्वात महत्त्वाची गोष्ट म्हणजे पेट्रोलमध्ये प्रामुख्याने सुमारे C_4 ते C_{12} कार्बन–साखळीचे हायड्रोकार्बन असतात. त्यामुळे पेट्रोलचे रासायनिक सूत्र एकच नसते. त्यातील घटकांची रासायनिक सूत्रे येथे देत आहे.

पेट्रोलमधील प्रमुख घटक

घटकांचा प्रकार	उदाहरणे	साधारण भूमिका
अल्केन्स (पॅराफीन्स)	पेंटेन, हेक्झेन, हेप्टेन, ऑक्टेन	मुख्य ऊर्जा देणारे हायड्रोकार्बन
आयसो-अल्केन्स	आयसोऑक्टेन	उच्च ऑक्टेन मिळवण्यासाठी महत्त्वाचे
सायक्लोअल्केन्स	सायक्लोहेक्झेन, मिथाइल सायक्लोहेक्झन	ऊर्जा व मिश्रणाचे गुणधर्म
अरोमॅटिक्स	टोल्युन, झायलीन, एथील बेंझिन	ऑक्टेन वाढवतात, पण प्रमाणावर पर्यावरणीय मर्यादा
ओलेफिन्स (अलकिन्स)	पेंटीन्स, हेक्झिन्स	ऑक्टेनमध्ये योगदान; जास्त प्रमाण नको
ऑक्सिजनयुक्त पदार्थ	इथेनॉल इ.	ऑक्टेन वाढवणे व इंधनातील ऑक्सिजन वाढवणे

- एन-हेप्टेन (C_7H_{16}) → ऑक्टेन क्रमांकासाठी संदर्भातील कमी-ऑक्टेन पदार्थ
- आयसोऑक्टेन (C_8H_{18}) → 100 ऑक्टेनचा संदर्भ पदार्थ
- टोल्युन (C_7H_8) → उच्च ऑक्टेन असलेला अरोमॅटिक पदार्थ
- इथेनॉल (C_2H_5OH) → आजच्या पेट्रोलमध्ये, विशेषतः ई१०/ई२०मध्ये, महत्त्वाचा मिश्रक

याशिवाय पेट्रोलमध्ये अतिशय कमी प्रमाणात डिटर्जंट, अँटिऑक्सिडंटस, गंजप्रतिरोधक आणि इतर मिश्रक असू शकतात. आपल्या ई१०/ई२० विषयाच्या संदर्भात एक महत्त्वाचा मुद्दा आहे : पेट्रोलमध्ये इथेनॉल मिसळल्यामुळे पेट्रोलची रासायनिक रचना, ऊर्जा घनता, ऑक्टेन आणि पाण्याशी वर्तन कसे बदलते, हे समजून घेतल्यावर ई१० आणि ई२० यातील शास्त्रीय फरक अधिक स्पष्ट होतो.

ऑक्टेन नंबर (Octane Number) म्हणजे पेट्रोलच्या इंजिनमध्ये होणाऱ्या अनियंत्रित ज्वलनाला-म्हणजेच नॉकिंगला-प्रतिरोध करण्याची क्षमता दर्शवणारा अंक. ऑक्टेन नंबर जितका जास्त, तितके पेट्रोल इंजिनमध्ये दाब आणि तापमान वाढल्यावर स्वतःहून पेटण्यास त्याला अधिक प्रतिरोध होतो.

ऑक्टेन नंबरची कल्पना कशी आली? यासाठी दोन पदार्थ प्रमाण मानले गेले -

- आयसो-ऑक्टेन (२,२,४-ट्राय मिथाइल पेंटेन) → ऑक्टेन नंबर १००
- एन-हेप्टेन → ऑक्टेन नंबर ०

समजा एखाद्या पेट्रोलचे गुणधर्म ९०% आयसो-ऑक्टेन + १०% एन-हेप्टेन यांच्या मिश्रणासारखे आहेत, तर त्याचा ऑक्टेन नंबर ९० आहे असे म्हणतात. मात्र प्रत्यक्ष पेट्रोलमध्ये हे दोनच पदार्थ असतात असे नाही. हे तुलनेसाठी वापरलेले संदर्भ प्रमाण आहे.

नॉकिंग (Knocking) म्हणजे काय? : पेट्रोल-हवेचे मिश्रण स्पार्क प्लगमुळे नियंत्रित पद्धतीने जळायला हवे. पण दाब दिल्यामुळे मिश्रणाचा काही भाग ठिणगी पडण्यापूर्वी किंवा ज्वाला पोहोचण्यापूर्वीच स्वतःहून पेटला, तर अतिशय वेगाने पुढील ज्वलन होते. त्यातून इंजिनमध्ये धडधड/ठकठक आवाज निर्माण होतो - यालाच नॉकिंग किंवा डिटोनेशन असे म्हणतात. ऑक्टेन नंबर म्हणजे पेट्रोलमध्ये किती ऊर्जा आहे हे सांगणारा अंक नाही. उदा. ९१ ऑक्टेन आणि ९५ ऑक्टेन पेट्रोलपैकी ९५ ऑक्टेनमध्ये नेहमीच जास्त ऊर्जा असते असे नसते. मुख्य फरक म्हणजे होणारे ज्वलन किती दाब सहन करूनही नॉकिंग न होता नियंत्रित राहते, हा आहे. म्हणूनच उच्च संपीडनाच्या (high-compression) इंजिनमध्ये उच्च ऑक्टेनचे इंधन उपयुक्त

ठरते. इथेनॉलचा संशोधित ऑक्टेन सुमारे १०८ असल्यामुळे पेट्रोलमध्ये इथेनॉल मिसळल्यावर मिश्रणाचा ऑक्टेन नंबर वाढू शकतो. त्यामुळे ई१० किंवा ई२० इंजिनमध्ये एक महत्त्वाचा फायदा म्हणजे नॉक प्रतिरोध वाढतो. पण त्याच वेळी इथेनॉलची ऊर्जाघनता पेट्रोलपेक्षा कमी असल्यामुळे प्रति लिटर किती अंतर वाहन जाते (milage) आणि प्रती लिटर किती ऊर्जा मिळते यावर परिणाम होऊ शकतो.

एक महत्त्वाची गोष्ट लक्षात घ्यावयास हवी. इथेनॉलमध्ये पेट्रोलपेक्षा ऊर्जेचे प्रमाण प्रती लिटर कमी असते. साधारणपणे: एक लिटर इथेनॉल एक लिटर पेट्रोलच्या तुलनेत ६५-७०% इतकी ऊर्जा देते.

त्यामुळे ई२० आणि ८० टक्के पेट्रोल मिश्रणामध्ये शुद्ध पेट्रोलच्या तुलनेत समान अंतर जाण्यासाठी इंधनाचा वापर थोडा वाढू शकतो. आधुनिक ई२०-अनुरूप इंजिनांमध्ये हा परिणाम तुलनेने कमी असू शकतो. भारतामध्ये गेल्या दोन वर्षांमध्ये ई२० म्हणजे २०% इथेनॉलमिश्रित पेट्रोल हे महत्त्वाचे लक्ष्य बनले आहे. यामागे केवळ प्रदूषण कमी करणे नाही एवढाच उद्देश नाही, तर शेतमालाला योग्य तो बाजारभाव देऊन इथेनॉलचे देशांतर्गत उत्पादन वाढवून, पेट्रोलियम आयात कमी करणे हेही उद्दिष्ट आहे. काही चिंतनात्मक प्रश्न इथे निर्माण होतात - 'इथेनॉल तयार करण्यासाठी आपण अन्नधान्य/ऊस वापरत असू, तर त्यातून प्रत्यक्षात किती ऊर्जा मिळते आणि त्यासाठी किती ऊर्जा खर्च होते?' हा कळीचा मुद्दा ई२०च्या खऱ्या ऊर्जा-कार्यक्षमतेचे मूल्यमापन करण्यासाठी फार महत्त्वाचा आहे. तसेच इंधन निर्माण करण्यासाठी शेतीचा वापर करण्याएवढी, अन्नसुरक्षा कायम ठेवून शेतजमीन आपण वापरू शकतो का? थोडक्यात ई२०साठी वापरायच्या इथेनॉलच्या निर्मितीतील ऊर्जेचा जमाखर्च पाहणे गरजेचे आहे.

वाहने फक्त इथेनॉलवर चालवता येतात का? तांत्रिकदृष्ट्या पेट्रोलऐवजी शुद्ध इथेनॉल इंधन म्हणून वापरता येते, पण सध्याच्या सर्व पेट्रोल वाहनांमध्ये थेट १००% इथेनॉल (ई१००) वापरता येत नाही. त्याची मुख्य कारणे अशी सांगता येतील.

- **इंजिनची रचना** : पेट्रोल इंजिनला इथेनॉलच्या वेगळ्या ज्वलनगुणधर्मानुसार इंधनप्रणाली आणि इंजिन नियंत्रित करणारी प्रणाली प्रमाणित (ECU Calibration) करावी लागते.
- ऊर्जाघनता कमी : एक लिटर इथेनॉलमध्ये एक लिटर पेट्रोलपेक्षा साधारण ३०-३५% कमी ऊर्जा असते. त्यामुळे समान अंतरासाठी अधिक इथेनॉल लागेल.
- **पाणी शोषण्याची प्रवृत्ती** : इथेनॉल जलशोषक (hygroscopic) असल्यामुळे ते वातावरणातील आर्द्रता शोषते. त्यामुळे इंधनप्रणालीमध्ये गंजणे (corrosion) आणि साठवून ठेवण्याच्या संबंधात समस्या येऊ शकतात. इथेनॉल साठवून ठेवले तर ते हवेतील आर्द्रता शोषत राहते.
- **थंड हवेत सुरू होणे** : शुद्ध इथेनॉलवर थंड हवेच्या ठिकाणी इंजिन सुरू करताना (cold-start) पेट्रोल इंजिनच्या तुलनेने अधिक समस्या येऊ शकतात.
- **साहित्याची अनुरूपता** : जुने रबर सील्स, पाइप आणि इंधनप्रणालीतील काही विशिष्ट भाग उच्च इथेनॉल प्रमाणासाठी अनुरूप नसतात. परंतु विशेषतः ई८५ किंवा ई१०० वापरण्यासाठी बनवलेली वाहने ही समस्या टाळू शकतात.

इंजिन नियंत्रण प्रणाली प्रमाणित करणे म्हणजे वाहनाच्या इंजिन नियंत्रक प्रणालीला (ECU) इंजिनच्या विविध परिस्थितींमध्ये किती इंधन द्यायचे, ज्वलन कधी करायचे, हवा किती घ्यायची, उत्सर्जन कसे नियंत्रित करायचे इत्यादी निर्णय योग्य पद्धतीने घेण्यासाठी त्यातील नियंत्रण-मूल्ये प्रमाणित करणे असे आहे. इंजिन नियंत्रक प्रणाली हा इंजिनाचा 'मेंदू' आहे; इंजिन नियंत्रक प्रणाली प्रमाणित करायची म्हणजे त्या मेंदूला प्रत्येक परिस्थितीत योग्य निर्णय घेण्याचे प्रशिक्षण दिले जाते. त्यामुळे प्रश्न हा नाही की 'इथेनॉल पेट्रोलची जागा घेऊ शकते का?' त्यासाठी बनवलेल्या योग्य इंजिनामध्ये नक्कीच ते ती जागा घेऊ शकेल. या ठिकाणी ही चर्चा करताना आणखी एक अत्यंत महत्त्वाचा प्रश्न विचारात घ्यायचा आहे. एक लिटर इथेनॉल तयार करण्यासाठी आपण किती ऊर्जा खर्च करतो आणि त्या इथेनॉलमधून वाहनांसाठी किती ऊर्जा मिळते? विशेषतः ऊसापासून बनवलेले इथेनॉल आणि कचरा/जैववस्तुमान वापरून बनवलेले इथेनॉल यांची ऊर्जा-कार्यक्षमता खूप वेगळी असू शकते.

'पेट्रोल आणि इथेनॉल यांची उत्पादनापासून वाहनाच्या चाकापर्यंत (Well-to-Wheel)' अशी ऊर्जा आणि CO_2ची संपूर्ण तुलना : हा मुद्दा फक्त ''इथेनॉल स्वच्छ आहे का?'' एवढ्यावर थांबत नाही. खरी तुलना अशी पाहायला हवी :

कच्चा माल → इथेनॉल उत्पादन → वाहतूक → इंजिनमध्ये ज्वलन → मिळालेली उपयुक्त ऊर्जा

पण ही कागदावर केलेली ऊर्जातुलना विषयाचे पूर्ण आकलन होण्यासाठी पुरेशी नाही. इथेनॉलचा खरा फायदा कच्चा माल आणि त्यासाठी लागणाऱ्या उत्पादनप्रक्रियेवर अवलंबून असतो.

पेट्रोल आणि इथेनॉल : साधी ऊर्जा तुलना

बाब	पेट्रोल	इथेनॉल
एक लिटरमधील ऊर्जा	~३२–३४ MJ	~२१–२२ MJ
ऊर्जाघनता	जास्त	पेट्रोलपेक्षा ~३५% कमी
ऑक्टेन नंबर	तुलनेने कमी	अधिक
CO_2 उत्सर्जन (टेलपाइप)	जास्त	कमी
अक्षय स्रोत?	नाही	होय, योग्य कच्चा माल असल्यास
देशांतर्गत उत्पादन	मर्यादित	सहज शक्य
समान अंतरासाठी इंधन	कमी	अधिक

उदाहरण १ – ऊसापासून इथेनॉल : ऊस → रस → किण्वन → उर्ध्वपातन → इथेनॉल या मार्गाने केलेल्या इथेनॉलचा विचार करताना ऊसामध्ये असलेली साखर सूक्ष्मजीवांच्या किण्वनप्रक्रियेद्वारे इथेनॉलमध्ये बदलते. पण त्यासाठी :

- ऊसशेती करण्यासाठी
- त्याला पाणी देण्यासाठी
- खत घालण्यासाठी
- ऊसवाहतूक करण्यासाठी
- ऊसावर केली जाणारी प्रक्रिया (ऊस पिळून रस काढणे) करण्यासाठी
- किण्वन प्रक्रियेसाठी
- उर्ध्वपातनाने शुद्धीकरण करण्यासाठी

या सर्व टप्प्यांत ऊर्जा खर्च होते. त्यामुळे इथेनॉलमध्ये असलेली संपूर्ण ऊर्जा 'नवी निर्माण' झालेली नसते. सौरऊर्जेने वाढलेल्या ऊसातील रासायनिक ऊर्जेचा काही भाग इथेनॉलमध्ये साठवला जातो.

उदाहरण २ – जैविक कचऱ्यापासून इथेनॉल : हे चित्र अधिक मनोरंजक आहे.. भाजीपाला कचरा/कृषी अवशेष → सेल्युलोज → साखर → किण्वन → इथेनॉल या साखळी प्रक्रियांमध्ये आपण अन्नासाठी लागणाऱ्या धान्याऐवजी कचरा किंवा भाजीपाल्याचे व अन्नपदार्थांचे जैविक अवशेष वापरू शकतो. म्हणून भविष्यातील महत्त्वाचा प्रश्न असा आहे, की 'आपण इथेनॉल तयार करण्यासाठी नवीन जैविक पदार्थ पिकवायचा, की आधीच निर्माण झालेल्या जैविक कचऱ्यातील ऊर्जा इथेनॉलच्या स्वरूपात पुनर्प्राप्त करायची?' ऊर्जा-धोरणाच्या दृष्टीने हा अतिशय महत्त्वाचा फरक आहे. आणि त्या विचारानुसार पेट्रोलशी खरी तुलना होऊ शकते. समजा, एखाद्या वाहनाला एका विशिष्ट अंतरासाठी १०० मेगाज्युल उपयुक्त ऊर्जा चाकांवर हवी आहे. पेट्रोलची ऊर्जाघनता जास्त असल्याने कमी इंधन लागेल. इथेनॉलची ऊर्जाघनता कमी असल्याने अधिक इंधन लागेल. परंतु इथेनॉलचा फायदा त्याच्या इंधनमात्रेतील ऊर्जेत नसून त्याच्या स्रोतामध्ये आहे.

पेट्रोल : प्राचीन जैविक पदार्थ → लाखो वर्षे → कच्चे तेल → तेलशुद्धीकरण कारखाने → पेट्रोल → इंजिन

इथेनॉल : भाजीपाला कचरा/कृषी अवशेष → सेल्युलोज → साखर → किण्वन → इथेनॉल → इंजिन

म्हणून इथेनॉलचा मुख्य फायदा म्हणजे कार्बनच्या दृष्टीने पाहिले तर लहान जैविक चक्रात पुनर्वापर करणे शक्य होते. पण या तुलनेत एक काळजी घ्यावी लागेल. आपण ऊस पिकवला → इथेनॉल बनवले → पेट्रोलची जागा घेतली, तर हा पर्याय काही प्रमाणात फायदेशीर असू शकतो. पण, कचरा → त्यातील सेंद्रिय पदार्थ → किण्वन → इथेनॉल असा मार्ग वापरला, तर कचऱ्याचे मूल्यवर्धन + जीवाश्मइंधनाला पर्याय असा दुहेरी फायदा होऊ शकतो. आपण एक टन जैविक कचरा घेतला तर त्यापासून किती इथेनॉल, किती ऊर्जा आणि किती पेट्रोलची जागा घेता येईल, याचा प्रत्यक्ष जमाखर्च काढू शकतो. त्यातून 'कचरास्रोत ते इथेनॉल' किती अर्थपूर्ण आहे हे अधिक स्पष्ट होईल. सर्वप्रथम एक महत्त्वाची बाब लक्षात घ्यायची आहे. ती म्हणजे '१ टन ओला जैविक कचरा → अमुक लिटर इथेनॉल' असा एकच आकडा देता येत नाही. कचऱ्यातील पाण्याचे प्रमाण, सेल्युलोज/हेमी सेल्युलोज/स्टार्चचे प्रमाण

आणि लिग्नीनचे प्रमाण यावर इथेनॉलचे उत्पादन मोठ्या प्रमाणात अवलंबून असते.

१ टन जैविक कचऱ्यापासून काय मिळेल ते पाहू या.

१००० किलोग्रॅम ओला जैविक कचरा घेतला तर त्यात सरासरी

- ६०० किलोग्रॅम पाणी
- ४०० घनपदार्थ

असतील. या ४०० किलो घनपदार्थामध्ये समजा २५० किलो किण्वन होऊ शकणारे कर्ब पदार्थ आहेत. सेल्युलोज/हेमीसेल्युलोजमधील कार्बोहायड्रेटचे ग्लुकोजमध्ये रूपांतर आणि नंतर किण्वन केल्यास सैद्धान्तिकदृष्ट्या :

ग्लुकोज → इथेनॉल + CO_2

प्रति १०० किलो ग्लुकोजमधून सैद्धान्तिक कमाल सुमारे ५१ किलो इथेनॉल मिळते.

म्हणजे २५० किलो किण्वनशील कार्बोहायड्रेट्पासून सैद्धान्तिक कमाल : ≈१२८ किलो इथेनॉल मिळायला हवे. पण प्रत्यक्ष उत्पादन करत असताना जे वेगवेगळे प्रक्रियाटप्पे हाताळावे लागतात, त्यामुळे हा आकडा मिळत नाही. सेल्युलोजपासून इथेनॉल मिळवण्यासाठी NRELच्या process designsमध्ये कोरड्या बायोमासवर सैद्धान्तिक अपेक्षेच्या साधारण ७६% आणि सुमारे ३३० लिटर इथेनॉल/एक टन कोरडे बायोमास असा ठोकताळा वापरला गेला आहे.

मग १ टन ओल्या कचऱ्यापासून किती इथेनॉल मिळेल?

वरील उदाहरणात ४०० कोरडे बायोमास आहे. वरील ठोकताळ्यानुसार साधारण ३०० लिटर इथेनॉल/प्रति टन कोरडे बायोमास मिळते.

४०० किलो कोरडे बायोमास वापरले तर → सुमारे १२० लिटर इथेनॉल मिळते. हा एक तांत्रिक अंदाज आहे; प्रत्यक्ष म्युनिसिपल ओला कचरा/टाकाऊ अन्नामध्ये तो मोठ्या प्रमाणात बदलू शकतो. इथेनॉलमध्ये सुमारे २१ मेगाज्युल/लिटर ऊर्जा असते, तर पेट्रोलमध्ये सुमारे ३२ मेगाज्युल/लिटर

म्हणून १२० लिटर इथेनॉल :

१२० x २१ ≈ २५२० मेगाज्युल (सुमारे २.५ गिगाज्युल ऊर्जा)

३. ही ऊर्जा किती पेट्रोलच्या बरोबर आहे?

पेट्रोल ≈३२ मेगाज्युल/लिटर धरले तर :

२५२० ÷ ३२ ≈ ७९ लिटर पेट्रोल

म्हणजे या उदाहरणात :

१ टन ओल्या जैविक कचऱ्यातील ऊर्जा → अंदाजे १२०लिटर इथेनॉल → ऊर्जेच्या दृष्टीने ≈ ७९ लिटर पेट्रोल असे अत्यंत महत्त्वाचे निरीक्षण आहे.

याचा अर्थ १ टन कचऱ्यापासून प्रत्यक्ष ७९ लिटर पेट्रोलची जागा घेता येईल असा सरळ निष्कर्ष काढता येणार नाही. कारण इथेनॉलप्रक्रिया करण्यासाठी लागणारी ऊर्जा, जैविक विकरे/जैवरसायने आणि उर्ध्वपातनासाठी लागणारी ऊर्जा वजा करावी लागेल.

इथेच खरी ग्यानबाची मेख आहे – निव्वळ ऊर्जा किती मिळते?

समजा, त्या १२० लिटर इथेनॉलमध्ये : २५२० मेगाज्युल ऊर्जा आहे. पण ते तयार करण्यासाठी बाहेरून १००० मेगाज्युल ऊर्जा द्यावी लागली तर निव्वळ ऊर्जा फायदा :

२५२० – १००० = १५२० मेगाज्युल इतका असेल.

Energy Return on Energy Invested : EROEI = 2.52

म्हणजे खर्च केलेल्या १ मेगाज्युल ऊर्जेमागे २.५२ मेगाज्युल्स इंधन-ऊर्जा मिळाली. याच कारणामुळे इथेनॉलच्या बाबतीत फक्त इथेनॉल किती मिळाले पाहणे चुकीचे आहे; EROEI आणि carbon intensity दोन्ही पाहणे आवश्यक आहे.

इथेनॉल आणि इंजिनाची कार्यक्षमता : 'इथेनॉलमुळे इंजिनाची कार्यक्षमता किती कमी होते?' या प्रश्नाचे उत्तर इथेनॉलची टक्केवारी, इंजिनाची रचना आणि आपण कार्यक्षमता कोणत्या निकषाने मोजतो यावर अवलंबून आहे.

सर्वात स्पष्ट दिसून येणारा परिणाम – प्रती लिटर ऊर्जा : इथेनॉलमध्ये पेट्रोलपेक्षा सुमारे ३४% कमी ऊर्जा प्रती किलोग्रॅम आणि साधारण ३०-३५% कमी ऊर्जा प्रती लिटर असते. म्हणून समान अंतरासाठी : शुद्ध पेट्रोलवर चालणारे इंजिन आधारभूत मानले तर त्या तुलनेत इ१० पेट्रोलवर चालणाऱ्या इंजिनाला प्रती लिटर ऊर्जा साधारण ३-४% कमी मिळेल आणि ई२० पेट्रोलवर चालणाऱ्या इंजिनाला प्रति लिटर ऊर्जा साधारण ६-७% कमी मिळेल. त्यामुळे, जर इंजिनची औष्णिक कार्यक्षमता जवळजवळ समान राहिली, तर ई२० मध्ये शुद्ध पेट्रोलच्या तुलनेत दर लिटरला जाणारे अंतर साधारण ६%च्या आसपास कमी होण्याची शक्यता असते. इथे एक महत्त्वाचा वैज्ञानिक फरक आहे : याचा अर्थ इंजिनाची कार्यक्षमता ६% कमी झाली असा होत नाही. इंजिनची औष्णिक कार्यक्षमता म्हणजे इंधनातील रासायनिक ऊर्जेपैकी किती भाग यांत्रिक कार्यात रूपांतरित होतो. इथेनॉलचा ऑक्टेन क्रमांक जास्त असल्यामुळे संपीडन गुणोत्तर किंवा ठिणगी पडण्याचा क्षण (ignition timing) योग्य प्रकारे बदलता येत असेल, तर इंजिनाची औष्णिक कार्यक्षमता कमी होण्याऐवजी

काही परिस्थितीत सुधारूही शकते.

ई२० → कमी ऊर्जाघनता ≠ ६% कमी इंजिन कार्यक्षमता

याचा अधिक अचूक अर्थ असा सांगता येईल, की समान इंजिन आणि बाकी सारे घटक समान असताना (same operating conditions) प्रती लिटर मिळणारे अंतर साधारण ६% कमी होऊ शकते. दिलेल्या प्रमाणात किंवा आकारमानात किती ऊर्जा साठलेली आहे म्हणजे ऊर्जाघनता. इंजिन किती कार्यक्षम आहे ते इंधनाच्या ऊर्जाघनतेवर निश्चित होते. इथेनॉलची ऊर्जाघनता पेट्रोलच्या तुलनेत कमी आहे, पण त्याचा ऑक्टेन क्रमांक मात्र अधिक आहे. त्यामुळे ई२० पेट्रोल वापरण्याचे काही निश्चित असे फायदेही आहेत.

इथेनॉलचा ऑक्टेन क्रमांक पेट्रोलपेक्षा जास्त असल्यामुळे :

- नॉकिंग कमी होऊ शकते
- अधिक संपीडन गुणोत्तर (म्हणजे इंजिनाच्या सिलिंडरमध्ये पिस्टन सर्वात खाली असताना असलेले (BDC) एकूण आयतन (volume) आणि पिस्टन वरच्या टोकाला (TDC) असताना उपलब्ध असलेले कमीत कमी आयतन यांचे गुणोत्तर) वापरता येते. संपीडन गुणोत्तर वाढले की संपीडनाच्या शेवटी मिश्रणाचे दाब आणि तापमान वाढते. त्यामुळे सामान्यतः इंजिनची औष्णिक कार्यक्षमता वाढू शकते.
- इग्निशन टायमिंग (म्हणजे पेट्रोल इंजिनमध्ये हवा-इंधन मिश्रणात स्पार्क प्लगने ठिणगी नेमक्या कोणत्या क्षणी पडली पाहिजे, हे ठरवणारा क्षण) अधिक अनुकूल करता येतो.
- योग्य प्रकारे संरचित/flex-fuel engine मध्ये कार्यक्षमता चांगली मिळू शकते. फ्लेक्स फ्युएल इंजिन असलेल्या वाहनास लवचीक इंधन वाहन म्हणता येईल. लवचीक-इंधन वाहन म्हणजे पेट्रोलमध्ये इथेनॉलचे प्रमाण बदलले तरी त्या मिश्रणानुसार इंजिनाचे कार्य आपोआप समायोजित करून चालू शकणारे वाहन. लवचीक इंधन वाहन (FFV) साधारणपणे अशा विस्तृत इथेनॉल प्रमाणावर चालण्यासाठी सक्षम असते. मात्र नेमकी इंधन-श्रेणी वाहनाच्या डिझाइनवर अवलंबून असते.

इथेनॉलची बाष्पीभूत होण्यासाठी लागणारी गुप्त उष्णतादेखील (latent heat) जास्त आहे. त्यामुळे ज्वलनासाठी सिलिंडरमध्ये प्रवेश केलेले हवा आणि इंधन यांचे मिश्रण (intake-charge) थंड होते आणि काही परिस्थितींमध्ये आयतन कार्यक्षमता सुधारू शकते. म्हणजे इथेनॉलचे बाष्पीभवन होताना ते तुलनेने जास्त उष्णता शोषून घेते; त्यामुळे ज्वलनासाठी सिलिंडरमध्ये प्रवेश केलेले हवा आणि इंधन यांचे मिश्रण थंड व अधिक घनस्वरूपी होऊ शकते आणि काही विशिष्ट operating conditions मध्ये सिलिंडरमध्ये अधिक हवेचे वस्तुमान भरल्यामुळे इंजिनाची आयतन क्षमता व शक्तिसामर्थ्य सुधारू शकते.

प्रत्यक्ष ई२० गाडीत काय घडते ते मात्र इंजिनावर अवलंबून असते.

जुने, ई१० साठी घडवलेल्या इंजिनात ई२० पेट्रोल वापरल्यास दर लिटरला जाणाऱ्या अंतरात घट होते, काही रबरी/प्लास्टिक भागांवर दीर्घकालीन परिणाम होऊ शकतात आणि इंधनप्रणाली अनुरूपतेवर प्रश्न उद्भवू शकतात.

ई२० पेट्रोल अनुरूप आधुनिक इंजिनात इंजिनची नियंत्रण प्रणाली, इंधन प्रवेश आणि ignition calibration ई२० लक्षात घेऊन केलेले असल्यामुळे प्रतिकूल परिणाम बऱ्याच प्रमाणात नियंत्रित होतात. एक साधे उदाहरण घेऊ. समजा एखादी कार शुद्ध पेट्रोलवर १५ किलोमीटर/प्रती लिटर देते.

फक्त ऊर्जा घनता परिणाम गृहीत धरला तर ई२० इंधनावर : १५ x ०.९४ ≈ १४.१ किलोमीटर/प्रती लिटर म्हणजे सुमारे ०.९ किलोमीटर/प्रती लिटर कमी अंतर मिळेल. पण प्रत्यक्ष मायलेजमध्ये हा आकडा नेहमी ६ टक्केच असेल असे नाही – वाहन चालवताना ट्रॅफिकची स्थिती, इंजिनाची प्रमाणता, टायरमधील हवेचा दाब, वातानुकूलित प्रणाली इत्यादींचाही मोठा परिणाम होत असतो. म्हणून ई२०चा मुख्य प्रतिकूल परिणाम 'इंजिन खराब होते' हा नसून, समान लिटरमध्ये कमी ऊर्जा मिळणे हा आहे. योग्य ई२०-अनुरूप इंजिनमध्ये हा परिणाम तुलनेने मर्यादित असू शकतो.

ज्वलन प्रमाणित करणे (इग्निशन कॅलिब्रेशन) म्हणजे इंजिनाच्या प्रत्येक परिस्थितीत स्पार्क प्लगने नेमक्या कोणत्या क्षणाला ठिणगी द्यावी, हे इंजिनाच्या नियंत्रण प्रणालीमध्ये ठरवून ठेवण्याची प्रक्रिया. ठिणगी पडण्याचा क्षण ठरवण्यासाठी इंजिनाच्या RPM, load, तापमान, इंधनाचा प्रकार/इथेनॉलचे प्रमाण, knock tendency इत्यादी गोष्टी आवश्यक असतात.

एक उदाहरण –

समजा इंजिन २००० RPM वर आहे–

Spark = 10^0 BTDC

पण इंजिन ४००० RPM वर गेले तर ज्वलना-साठी उपलब्ध वेळ कमी होतो. त्यामुळे नियंत्रण

प्रणाली कदाचित : Spark = 25^0 BTDC

असे timing ठेवू शकते.

ही किंमत इंजिनाच्या चाचण्यांमधून निश्चित केली जाते.

प्रमाणित करणे किंवा Calibration म्हणजे प्रत्यक्षात काय?

इंजिन अभियंते वेगवेगळ्या परिस्थितींमध्ये इंजिन तपासतात :

RPM x Engine load x Temperature x Fuel composition

आणि प्रत्येक परिस्थितीत :

- ठिणगी पडण्याचा क्षण
- इंधनप्रवेश
- हवा व इंधन यांचे गुणोत्तर
- नॉकिंग प्रवृत्ती
- इंजिनची शक्ती
- इंधनखपत
- एक्झॉस्ट उत्सर्जन

यांचा अभ्यास करून इंजिननियंत्रण युनिटसाठी योग्य संच तयार करतात.

यातून एक प्रकारचा प्रमाणित नकाशा तयार होतो.

E20 / Flex-fuel मध्ये याचे विशेष महत्त्व

इथेनॉलचे प्रमाण वाढल्यावर :

ऑक्टेन –↑ → नॉकिंग प्रतिरोध –↑

गुप्त उष्णता –↑ → हवाइंधन मिश्रण थंड होण्याची प्रक्रिया ↑

ऊर्जा घनता ↓ → प्रति लिटर मिळणारी ऊर्जा ↓

म्हणून E20 किंवा E85 वापरणाऱ्या इंजिनमध्ये ज्वलन प्रमाणित करण्याचे प्रक्रिया संच वेगळे असू शकतात. विशेषतः लवचीक इंधन इंजिनामध्ये इंधनातील इथेनॉलचे प्रमाण बदलल्यावर इंजिन नियंत्रक युनिट त्यानुसार ठिणगी पडण्याचा क्षण आणि इतर संबंधित गोष्टी बदलू शकते.

सोप्या भाषेत :

Ignition timing = ठिणगी कधी द्यायची?

Ignition calibration = कोणत्या परिस्थितीत किती आधी किंवा नंतर ठिणगी द्यायची, हे प्रयोगांद्वारे अचूकपणे ठरवणे.

यामुळे 'ignition timing', 'ignition advance' आणि 'ignition calibration' या तीन संज्ञांतील फरकही स्पष्ट होतो.

पुढील तक्त्यात एक लिटरमध्ये ऊर्जा (मेगाज्युल), सैद्धान्तिक मायलेज, ऑक्टेन, CO_2, CO, NOx, PM, पाण्याचा वापर आणि किंमत यांचे तुलनात्मक आकडे दिलेले आहेत. दिलेले आकडे प्रामुख्याने ऊर्जा-सामग्रीच्या गणितावर आधारित अंदाजे मूल्ये आहेत. प्रत्यक्ष वाहनातील मायलेज आणि उत्सर्जन इंजिन, इंजिन नियंत्रण प्रणाली, वाहन चालवताना रस्त्यावरील स्थिती इत्यादींवर अवलंबून असल्यामुळे हे आकडे बदलू शकतात. त्यातून ई२० इंधनाचा खरा फायदा-तोटा अधिक वस्तुनिष्ठपणे दिसेल.

ई२० मुळे मायलेज ६-७% कमी होऊ शकते, याचा अर्थ इंजिनाची कार्यक्षमता ६-७% कमी होते असे नसते. समजा फक्त पेट्रोलमध्ये १ लिटर x ३३ मेगाज्युल प्रति लिटर = ३३ मेगाज्युल आणि ई२० मध्ये : १ लिटर x ~३१ मेगाज्युल प्रति लिटर = ~३१ मेगाज्युल. म्हणजे ई२० मध्ये एका लिटरमध्ये सुमारे २ मेगाज्युल्स कमी ऊर्जा आहे. त्यामुळे समान परिस्थितीत अधिक इंधन जाळावे लागते. परंतु ई२०चा उच्च ऑक्टेन योग्य संपीडन गुणोत्तर आणि अचूक ठिणगी पडण्याची वेळ वापरणाऱ्या इंजिनाला अधिक कार्यक्षम बनवू शकतो. त्यामुळे प्रत्यक्ष मायलेजची घट केवळ ऊर्जा घनतेवरून काढलेल्या ६-७ टक्क्यांपेक्षा काहीशी कमी असू शकते.

यातून एक सर्वात उत्कंठावर्धक प्रश्न निर्माण होतो : इथेनॉलचे टेलपाइप CO_2 उत्सर्जन कमी दिसत असले तरी, इथेनॉल तयार करण्यासाठी लागणारी जमीन + पाणी + खत + ऊर्जा + किण्वन/उर्ध्वपातन + वाहतूक धरली, तर संपूर्ण 'स्रोतापासून चाकापर्यंत' CO_2 उत्सर्जन आणि ऊर्जा-ताळेबंद वेगळे चित्र दाखवू शकतो. विशेषतः ई२० मध्ये २०% इथेनॉलसाठी किती ऊस/मका, किती पाणी आणि किती जमीन लागते, आणि त्यातून मिळणारी ऊर्जा त्या कृषी-औद्योगिक ऊर्जेपेक्षा किती जास्त आहे-हा आपल्या ऊर्जा-शाश्वततेच्या दृष्टीने अत्यंत महत्त्वाचा मुद्दा आहे.

इथेनॉलमिश्रित पेट्रोल : ऊर्जा बचत, पर्यावरण आणि संसाधनांचा खरा हिशेब

पेट्रोलमध्ये इथेनॉल मिसळण्यामागे प्रामुख्याने तीन उद्दिष्टे आहेत-जीवाश्म इंधनावरील अवलंबित्व कमी करणे (आयात कमी करणे), पेट्रोलच्या ज्वलनातून होणारे जीवाश्म कार्बन उत्सर्जन कमी करणे आणि देशांतर्गत उपलब्ध जैविक स्रोतांपासून इंधन तयार करणे. मात्र, इथेनॉलला केवळ 'नवीकरणीय इंधन' म्हणून पाहणे पुरेसे नाही. त्याच्या उत्पादनासाठी लागणारी जमीन, पाणी, ऊर्जा, खते, वाहतूक आणि औद्योगिक प्रक्रिया यांचाही सारासार विचार केला पाहिजे. त्यामुळे इथेनॉलचे मूल्यमापन स्रोतापासून चाकापर्यंत किंवा संपूर्ण जीवनचक्राच्या दृष्टीने करणे अधिक शास्त्रीय ठरते. ई२० म्हणजे ८०% पेट्रोल आणि २०% इथेनॉल. पेट्रोलपेक्षा इथेनॉलची ऊर्जा-घनता

पेट्रोल विरुद्ध ई१० विरुद्ध ई२० – १ लिटरची वैज्ञानिक तुलना

निकष	शुद्ध पेट्रोल	इ१०	ई२०
पेट्रोलचे प्रमाण	१००%	९०%	८०%
इथेनॉलचे प्रमाण	०%	१०%	२०%
ऊर्जा, साधारण मेगाज्युल/लिटर	३२–३४	३१–३२	३०–३१
शुद्ध पेट्रोलच्या तुलनेत ऊर्जा	१००%	९६–९७%	९३–९४%
सैद्धांतिक मायलेज	१००%	९६–९७%	९३–९४%
ऑक्टेन	९१–९५*	जास्त	आणखी जास्त
नॉकिंग प्रतिरोध	आधार	सुधारते	अधिक सुधारते
इंजिन औष्णिक कार्यक्षमता	समान/थोडी सुधारू शकते	योग्य calibration असल्यास सुधारू शकते	
CO_2 – tailpipe	साधारण	थोडे कमी	जवळपास थोडे कमी
CO	साधारण	कमी होऊ शकते	आणखी कमी होऊ शकते
Unburnt Hydrocarbon	आधार	कमी होऊ शकते	कमी होऊ शकते
NOx	निश्चित दिशा नाही	इंजिननुसार	इंजिननुसार
PM/soot	आधार	सामान्यतः कमी	सामान्यतः आणखी कमी
Evaporative emissions	आधार	वाढण्याची शक्यता	वाढण्याची शक्यता
पाण्याशी संबंध	कमी	अधिक	लक्षणीय अधिक
इंधन प्रणाली अनुरूपता	सर्वसाधारण	व्यापक	ई२०–अनुरूप असणे महत्त्वाचे
प्रति लिटर इंधनातील ऑक्सिजन	कमी	जास्त	सर्वाधिक

* भारतातील पेट्रोलचा प्रत्यक्ष ऑक्टेन श्रेणी आणि संरचना वेगवेगळी असू शकते.

कमी आहे. पेट्रोलमध्ये साधारण ३२–३४ मेगाज्युल/लिटर तर इथेनॉलमध्ये सुमारे २१.१ मेगाज्युल/लिटर ऊर्जा असते. त्यामुळे १ लिटर ई२० पेट्रोलमध्ये साधारण ३०–३१ मेगाज्युल ऊर्जा असते, तर १ लिटर पेट्रोलमध्ये सुमारे ३३ मेगाज्युल ऊर्जा असू शकते. म्हणजे ई२०पेट्रोलमध्ये प्रती लिटर ऊर्जा सुमारे ६–७% कमी असते. परिणामी, समान इंजिन व समान परिस्थितीत मायलेज काही प्रमाणात कमी होऊ शकते. परंतु याचा अर्थ इंजिनाची औष्णिक कार्यक्षमता

एवढ्याच प्रमाणात कमी होते असा नाही. इथेनॉलचा ऑक्टेन क्रमांक जास्त असल्याने योग्य प्रकारे आराखडा आणि प्रमाणित केलेल्या इंजिनमध्ये नॉकिंग कमी करून संपीडन गुणोत्तर अणि ठिणगी पडण्याचा अचूक क्षण अधिक अनुकूल करता येतात; त्यामुळे काही प्रमाणात कार्यक्षमतेची भरपाई होऊ शकते.

ई२० पेट्रोलचा सर्वात महत्त्वाचा पर्यावरणीय फायदा म्हणजे जीवश्मइंधनाचा काही भाग जैविक इंधनाने बदलला जातो.

- १ लिटर पेट्रोल जाळल्यावर साधारण २.३ किलो जीवाश्म CO_2 उत्सर्जन होते. ई२० पेट्रोलमध्ये ०.२ लिटर पेट्रोलची जागा इथेनॉल घेत असल्याने साध्या टेल पाइप जीवाश्म-कार्बन हिशेबानुसार सुमारे ०.४६ किलो जीवाश्म CO_2 प्रति लिटर ई२० पेट्रोल टाळले जाऊ शकते. परंतु ही पूर्ण CO_2 बचत मानता येत नाही. कारण इथेनॉल तयार करताना शेती, सिंचन, खतनिर्मिती, यंत्रसामग्री, वाहतूक, किण्वन आणि उर्ध्वपातन यासाठीही जीवाश्म ऊर्जा वापरली जाते. त्यामुळे खरा लाभ ठरवण्यासाठी संपूर्ण जीवनचक्रातील उत्सर्जन वजा करावे लागते.
- सर्वात गंभीर मुद्दा म्हणजे पाण्याचा वापर. भारतीय संदर्भातील काही गणनांनुसार कृषिक्षेत्रात साखर/ऊस-आधारित इथेनॉलसाठी सुमारे २८६०-३००० लिटर पाण्याचा वापर प्रती लिटर इथेनॉल असू शकतो. हे समजून घेणे अत्यंत महत्त्वाचे आहे की ३००० लिटर पाणी डिस्टिलरीमध्ये एका लिटर इथेनॉलसाठी प्रत्यक्ष वापरले जाते असे नाही. या आकड्यात ऊस पिकवण्यासाठी लागणाऱ्या कृषी पाण्याचा समावेश आहे. त्यामुळे ई२० पेट्रोलमधील ०.२ लिटर इथेनॉलसाठी हा हिशेब लावल्यास साधारण ५७०-६०० लिटर पाण्याचा कृषिक्षेत्रातील ठसा उमटतो. या आकड्यांचेही काळजीपूर्वक अर्थ लावणे आवश्यक आहे. भारतातील इथेनॉल मोठ्या प्रमाणात मोलॅसिस, म्हणजे साखरनिर्मितीतील निर्माण होणाऱ्या मळीपासून उपउत्पादन म्हणून तयार होते. अशा वेळी संपूर्ण ऊसशेतीचे पाण्याचा भार इथेनॉलवरच टाकणे योग्य नाही. साखर, मळी, पाचट आणि इथेनॉल यांच्यात एकूण वापरल्या गेल्या पाण्याचा पर्यावरणीय भार कसा वाटला जातो - यावर परिणाम मोठ्या प्रमाणात बदलतो. त्यामुळे 'एका लिटर इथेनॉलसाठी ३००० लिटर पाणी' हा आकडा अंतिम आणि सार्वत्रिक परिमाण म्हणून वापरला जाणारा नाही याची दक्षता घ्यावयास हवी.
- जमिनीच्या बाबतीतही अशीच काळजी आवश्यक आहे. भारतीय ऊसउत्पादन आणि इथेनॉल-निर्मितीच्या काही गृहितकांनुसार एका लिटर इथेनॉलमागे साधारण १.८m^2 -प्रतिवर्षी जमीन संबंधित असू शकते. त्यामुळे ई२० पेट्रोलमधील ०.२ लिटर इथेनॉलसाठी साधारण ०.३७m^2 प्रतिवर्षी जमीन-संबंधित भार येतो. परंतु मळी हे साखरनिर्मितीचे उपउत्पादन असल्याने पुन्हा संपूर्ण ऊस जमिनीचा भार इथेनॉलवर टाकणे शास्त्रीयदृष्ट्या योग्य ठरणार नाही. प्राणिखाद्य आणि प्रमाणित पद्धतीनुसार हा आकडा मोठ्या प्रमाणात बदलू शकतो.
- इथेनॉल उत्पादनासाठी लागणाऱ्या ऊर्जेचा प्रश्न आणखी महत्त्वाचा आहे. ऊसामधील पाचट जाळून साखर कारखाने स्वतःसाठी वाफ आणि विद्युतऊर्जा निर्माण करू शकतात. त्यामुळे साखर-इथेनॉल उद्योगात बाह्य जीवाश्मऊर्जेची गरज काही प्रणालींमध्ये तुलनेने कमी राहते. नुकत्याच प्रसिद्ध झालेल्या दक्षिण भारतीय अभ्यासात मळीवर आधारित इथेनॉल प्रणालीसाठी ऊर्जा उत्पादन आणि ऊर्जा-व्यय यांचे गुणोत्तर सुमारे १५.८ : १ नोंदवले गेले. परंतु हा आकडा सर्व इथेनॉल कारखान्यांना लागू करता येत नाही. शेतीतील सिंचन, खतनिर्मिती, वाहतूक, उर्ध्वपातन यंत्रणा आणि पाचट वापर यानुसार ऊर्जा-ताळेबंद बदलतो.

त्यामुळे इथेनॉलचे जीवाश्म CO_2 उत्सर्जन कमी करणे हे त्याच्या स्रोतावर आणि उत्पादनपद्धतीवर मोठ्या प्रमाणात अवलंबून असते. भारतीय मळी आधारित इथेनॉलवर काही जीवनचक्र विश्लेषणांमध्ये प्रति लिटर इथेनॉलला सुमारे ०.५-किलो CO_2 उत्सर्जन आढळते; परंतु उपउत्पादन घेण्यासाठी कोणती पद्धत वापरली आहे यावर हा आकडा मोठ्या प्रमाणात बदलू शकतो. म्हणून ई२० पेट्रोलच्या बाबतीत फक्त टेलपाईप CO_2 उत्सर्जन एवढाच मुद्दा पाहणे अपूर्ण आहे.

इथेनॉल म्हणजे फक्त 'पेट्रोलचा पर्याय' नाही; तो शेती, पाणी, जमीन आणि ऊर्जा यांच्याशी जोडलेला ऊर्जा-स्रोत आहे. ई२० पेट्रोलचा फायदा असा की एका लिटर इंधनामध्ये वापरलेले पेट्रोल कमी होते आणि त्यामुळे जीवाश्मकार्बन उत्सर्जन कमी होऊ शकते. त्याच वेळी इथेनॉलची कमी ऊर्जा घनता असल्याने प्रती लिटर मायलेज थोडे कमी होण्याची

या सर्वांचा एक लिटर ई२० पेट्रोलसाठी सारांश

बाब	अंदाजे परिणाम
पेट्रोल	०.८० लिटर
इथेनॉल	०.२० लिटर
ऊर्जा	~३०–३१ मेगाज्युल्स
पेट्रोलच्या तुलनेत ऊर्जा	~६–७% कमी
कृषिक्षेत्रातील पाणीवापर ठसा*	~५७०–६०० लिटर
जमीन*	~०.३७ ाऑ–प्रतिवर्षी
पेट्रोलमधील जीवाश्म CO_2	~१.८५ किलोग्रॅम
**पेट्रोलच्या तुलनेत थेट जीवाष्म CO_2 टाळणे	~०.४६ किलोग्रॅम
इथेनॉलचे जीवनचक्र हरितगृहवायू उत्सर्जन	~०.१०–०.१२ kg CO_2
भाव्य निव्वळ हरितगृहवायू उत्सर्जनबचत***	~०.३४–०.३६ kg CO_2 /लि ई२०

* साखर/ऊस–आधारित थेट गणना; मोलॅसिस allocation केल्यास आकडा बदलतो. ** काही भारतीय मळी आधारित इथेनॉल जीवनचक्र विश्लेषण गृहितकांवर आधारित. *** हे केवळ एक उदाहरण आहे; पूर्ण जन्म ते मृत्यू असे जीवनचक्र नाही!

शक्यता असते. इथेनॉलचा उच्च ऑक्टेन क्रमांक हा त्याचा महत्त्वाचा तांत्रिक फायदा आहे आणि योग्य इंजिनमध्ये त्यातून काही कार्यक्षमता लाभ मिळू शकतो. परंतु इथेनॉलसाठी पाण्याची कमतरता असलेल्या प्रदेशात मोठ्या प्रमाणावर सिंचनावर आधारित ऊस वाढवावा लागला, तर जीवाश्मइंधन बचतीबरोबरच पाणी आणि जमिनीचा पर्यावरणीय खर्चही लक्षात घ्यावा लागेल. म्हणून 'नूतनीक्षम' आणि 'शाश्वत' हे समानार्थी शब्द नाहीत. याच कारणामुळे इथेनॉलचे मूल्यमापन करताना केवळ 'एका लिटर पेट्रोलपेक्षा किती CO_2 कमी?' हा प्रश्न पुरेसा नाही. त्याऐवजी चार प्रश्न विचारणे अधिक वैज्ञानिक ठरेल :

- किती जीवाश्म ऊर्जा वाचली?
- किती जीवाश्म उर्जाउत्सर्जन कमी झाले?
- त्यासाठी किती पाणी आणि जमीन वापरली?
- मिळालेली निव्वळ ऊर्जा त्या सर्व खर्चाच्या तुलनेत किती आहे?

यातून एक महत्त्वाचा धोरणात्मक मुद्दा पुढे येतो : सर्व इथेनॉलसारखे नसते. ऊसाचा रस, मळी, मका, तांदूळ आणि कृषी–अवशेषांपासून तयार होणाऱ्या इथेनॉलचे पाणी, जमीन, ऊर्जा आणि CO_2 पाऊलखुणा ह्या सर्व बाबी वेगवेगळ्या असतात. विशेषतः 2G सेल्युलोजपासून बनलेले इथेनॉल, म्हणजे कृषी–अवशेषांपासून तयार होणारे इथेनॉल, अन्नधान्य किंवा ऊसासाठी लागणाऱ्या अतिरिक्त जमीन–वापराच्या समस्येवर वेगळा मार्ग देऊ शकते. म्हणून ऊर्जा–शाश्वततेच्या दृष्टीने अंतिम प्रश्न 'ई२० पेट्रोल चांगले की वाईट?' असा नसून, ''ई२० पेट्रोलमध्ये वापरलेले २०% इथेनॉल कोणत्या कच्च्या मालापासून, किती पाणी आणि ऊर्जा वापरून आणि किती जीवनचक्र CO_2 निर्माण करून तयार झाले?' हा असायला हवा.

सारांश : प्रश्नोत्तराच्या स्वरूपात सारांश लवकर लक्षात येईल.

प्रश्न : ई२० मुळे गाडीचे पेट्रोलवरील अवलंबित्व कमी होते का?

उत्तर : हो.

प्रश्न : ई२०मुळे ऑक्टेन वाढतो का?

उत्तर : हो.

प्रश्न : ई२०मुळे प्रती लिटर ऊर्जा कमी होते का?

उत्तर : हो.

प्रश्न : त्यामुळे मायलेज कमी होऊ शकते का?

उत्तर : हो.

प्रश्न : ई२०मुळे CO/HC उत्सर्जन कमी होऊ शकतात का?

उत्तर : हो, योग्य इंजिन आणि अनुकूल वातावरणामध्ये.

प्रश्न : ई२०मुळे CO_2 निघत नाही का?

उत्तर : नाही.

प्रश्न : ई२०ने नेहमीच हरितगृह वायू कमी होतात का?

उत्तर : नाही–इथेनॉल कसा तयार झाला यावर ते अवलंबून आहे.

प्रश्न : ई२०मुळे पाण्याचा प्रश्न निर्माण होऊ शकतो का?

उत्तर : हो, विशेषतः पाणी खूप लागणारा जैवस्रोत वापरल्यास.

प्रश्न : ई२० वापरणे चुकीचे आहे का?

उत्तर : नाही. पण ई२० हे स्वतः शाश्वत तंत्रज्ञान नसून, शाश्वत किंवा अशाश्वत इथेनॉलनिर्मिती प्रणालीचा एक उपयोग आहे, असे म्हणणे अधिक शास्त्रीय ठरेल. आणि इथेच भारतासाठी खरी दिशा दिसते.

भविष्यात प्रश्न असा नसावा :

'Petrol मध्ये २०% इथेनॉल मिसळायचे की नाही?'

तर प्रश्न असा असावा :

'पेट्रोलमधील २०% जीवाश्म भाग आपण कोणत्या प्रकारच्या नूतनक्षम कार्बनने बदलत आहोत–पाणी आणि जमीन मोठ्या प्रमाणावर वापरणाऱ्या अन्नपिकांपासून, की कृषिअवशेष आणि इतर आपल्याला उपयोगी नसलेल्या बायोमासपासून?'

थोरियम : भारताच्या अणुऊर्जा स्वावलंबनाचा तिसरा टप्पा?

भारतात थोरियमचा साठा मोठ्या प्रमाणात केरळच्या किनाऱ्यावरील वाळूत दडलेला आहे, असे नेहमी सांगितले जाते. या थोरियममुळे भविष्यात आपली ऊर्जा सुरक्षा गाठण्यास मोठीच मदत होणार आहे, असेही सांगितले जाते. या संदर्भात थोरियम समजून घेण्यासाठी भारतीय अणुशक्ती कार्यक्रमाचे प्रणेते डॉ. होमी जहांगीर भाभा यांची तीन–टप्प्यांची अणुशक्ती संकल्पना, त्यामागील भौतिकशास्त्र, प्रेशराईझ्ड फास्ट ब्रीडर रिऍक्टरमुळे (PFBR) झालेली सन २०२६मधील प्रगती आणि सन २०४७ चे १०० गिगावॉटचे लक्ष्य ह्यांची सविस्तरपणे चर्चा करणे आवश्यक आहे.

सन २०२६मध्ये भारत अजून 'थोरियमवर चालणारे अणुऊर्जा केंद्र' चालवत नाही. एप्रिल २०२६ मध्ये ५०० MWe प्रोटोटाईप फास्ट ब्रीडर रिऍक्टरने पूर्ण कार्यक्षमतेकडे जाणारी पहिली पातळी (first criticality) गाठली आहे. हा डॉ. भाभांच्या अणुशक्ती कार्यक्रमातील दुसऱ्या टप्प्याची सुरुवात आहे असे म्हटले तर वावगे होणार नाही. त्यातून पुढे युरेनियम २३३ हे समस्थानिक (U-233) निर्माण करून तिसऱ्या टप्प्यात थोरियमचा मोठ्या प्रमाणावर वापर करण्याचा मार्ग तयार होतो.

थोरियम नेमके अणुइंधन कसे बनते? : नैसर्गिक थोरियममध्ये जवळजवळ सर्व एकाच प्रकारचे समस्थानिक थोरियम २३२ (Th-232) असते. पण ह्या समस्थानिकाची अणुभट्टीत इंधन म्हणून वापर करण्यासाठी एक मूलभूत अडचण आहे. Th-232 हे समस्थानिक अणुइंधन निर्माण करण्यासाठी सक्षम आहे, पण त्याचे स्वतःचे विखंडन होत नाही व अणुऊर्जा निर्माण होऊ शकत नाही (fertile आहे; पण fissile नाही). म्हणजे Th-232 हे समस्थानिक स्वतः सहजपणे सातत्याने चालणारी साखळीची प्रक्रिया सुरू करू शकत नाही. त्याला प्रथम एखाद्या विखंडनक्षम पदार्थाच्या न्यूट्रॉनची गरज असते.

Th-232 हा न्यूट्रॉन शोषून घेतो आणि पुढील प्रक्रिया घडते.

$$Th\text{-}232 + n \rightarrow Th\text{-}233$$

नंतर त्यातून किरणोत्सराने बीटा कण बाहेर पडतात व त्याचे रूपांतर प्रथम Pa-233 मध्ये आणि नंतर युरेनियम 233 (U-233) या विखंडनक्षम समस्थानिकात होते.

$$Th\text{-}233 \rightarrow Pa\text{-}233 \rightarrow U\text{-}233$$

म्हणजे थोरियमचा अणुशक्तीच्या निर्मितीसाठी जो उपयोग होणार आहे त्याचा मार्ग

थोरियम 232 → थोरियम 233 → युरेनियम 233 → अणुविखंडन → उष्णता → वाफ → टर्बाइन → वीज असा राहील. यामुळे थोरियमला प्रत्यक्षात 'अणुइंधन' म्हणण्यापेक्षा 'अणुइंधन निर्माण करणारा सुपीक (fertile) पदार्थ' असे म्हणणे वैज्ञानिकदृष्ट्या अधिक अचूक ठरेल. याच कारणामुळे भारताच्या अणुकार्यक्रमात पहिल्या दोन टप्प्यांचे महत्त्व प्रचंड आहे.

डॉ. होमी यांची अणुशक्ती कार्यक्रमाच्या तीन–टप्प्यांची कल्पना : सुरुवातीला म्हटल्याप्रमाणे भारत हा जगातील मोठ्या थोरियम संसाधनांपैकी असलेला एक देश असला तरी अणुशक्तीचा श्रीगणेशा करण्याच्या काळात भारताकडे तुलनेने मर्यादित युरेनियम संसाधन होते. म्हणून डॉ. होमी भाभा यांनी अशा एका इंधनचक्र धोरणाची आखणी केली की उपलब्ध युरेनियममधून जास्तीत जास्त ऊर्जा काढून घेताना अखेरीस थोरियमकडे जाता येईल. हा मार्ग सोपा

नव्हता. त्यासाठी तीन टप्पे ठरवण्यात आले होते.

पहिला टप्पा — नैसर्गिक युरेनियम → प्लुटोनियम : भारताचे सध्याचे प्रेशराईज्ड हेवी वॉटर रिॲक्टर (PHWR) म्हणजे जड पाण्यावर आधारित अणुभट्ट्या या टप्प्याचा प्रमुख आधार आहेत. नैसर्गिक युरेनियममध्ये प्रामुख्याने U 238 - fertile आणि U-235 - fissile, अशी दोन समस्थानिके असतात, पण U-235चे प्रमाण मात्र अत्यल्प असते. PHWR मध्ये नैसर्गिक युरेनियम वापरून U-235 चे विखंडन होते. परंतु त्याच वेळी अणुभट्टीमध्ये U-238 न्यूट्रॉन शोषून घेऊन प्लुटोनियम-२३९ तयार करतो.

U-238 + n → Pu-239

वापरलेल्या इंधनावर पुनर्प्रक्रिया केल्यावर त्यातून प्लुटोनियम-२३९ मिळवता येते. याचा अर्थ पहिला टप्पा केवळ वीजनिर्मितीचा नसून दुसऱ्या टप्प्यासाठी प्लुटोनियम तयार करण्याचा हा टप्पा आहे. भारताचा पहिला टप्पा आता तुलनेने परिपक्व झाला आहे. ७०० MWe चे स्वदेशी PHWRही कार्यरत झाले आहेत आणि आणखी काही रिॲक्टर बांधकामाधीन आहेत.

दुसरा टप्पा – फास्ट ब्रीडर रिॲक्टर : इथेच भारताच्या अणुकार्यक्रमाचा अत्यंत महत्त्वाचा भाग येतो.

फास्ट ब्रीडर रिॲक्टरमध्ये (FBR) पहिल्या टप्प्यात मिळालेले प्लुटोनियम इंधन म्हणून वापरले जाते.

प्रेशराईज्ड हेवी वॉटर रिॲक्टरमध्ये युरेनियम-प्लुटोनियम मिश्र ऑक्साईड (MOX) इंधन वापरले जाते. त्याच्या गाभ्याभोवती U-238 चे पांघरूण घातले जाते. गतिमान न्यूट्रॉनांमुळे युरेनियम २३८चे रूपांतर प्लुटोनियम २३९ मध्ये होते.

U-238 → Pu-239

आणि अशा प्रकारे रिॲक्टर स्वतःपेक्षा अधिक विखंडनक्षम पदार्थ तयार करण्याच्या दिशेने जातो-म्हणून त्याला ब्रीडर म्हणतात. पण भारतासाठी याहून महत्त्वाची बाब म्हणजे त्या पांघरुणामध्ये U-238 ऐवजी/सोबत पुढे Th-232 वापरता येतो. त्याचे रूपांतर युरेनियम-२३३ मध्ये होते.

Th-232 → U-233

आणि हे U-233 पुढील, तिसऱ्या टप्प्याचे इंधन बनते. अणुऊर्जा विभागाने प्रेशराईज्ड हेवी वॉटर रिॲक्टरचे वर्णन करताना ही भूमिका स्पष्ट केली आहे.

प्रोटोटाईप फास्ट ब्रीडर रिॲक्टर : सन २०२६मधील निर्णायक टप्पा : ६ एप्रिल २०२६ हा भारताच्या तीन-टप्प्यांच्या कार्यक्रमातील ऐतिहासिक दिवस म्हणून नोंदला गेला आहे. कलपक्कम येथील ५०० MWe प्रोटोटाईप फास्ट ब्रीडर रिॲक्टरने (PFBR) या तारखेला रात्री आठ वाजून पंचवीस मिनिटांनी पूर्ण कार्यक्षमतेकडे जाणारी पहिली पातळी (first criticality) प्राप्त केली. म्हणजेच रिॲक्टरमध्ये नियंत्रित साखळीची प्रक्रिया सुरू झाली. इथे असे लक्षात घेणे आवश्यक आहे, की, पूर्ण कार्यक्षमतेकडे जाणारी पहिली पातळी म्हणजे व्यवसायिक पातळीवर विद्युतनिर्मिती सुरू झालेली नसते. यानंतर रिॲक्टरची शक्ती वाढवणे, विविध चाचण्या, विद्युतनिर्मिती आणि नियंत्रकांकडून संमतिपत्र अशा प्रक्रिया असतात. तरीही हा टप्पा महत्त्वाचा आहे कारण प्रोटोटाईप फास्ट ब्रीडर रिॲक्टर म्हणजे भारताच्या पहिल्या टप्प्यापासून तिसऱ्या टप्प्याकडे जाणारा तांत्रिक पूल आहे. 'भारत थोरियमच्या युगात थेट उडी मारणार नाही; तो uranium → plutonium → thorium → uranium-233 अशा क्रमाने तिथे पोहोचणार आहे.'

तिसरा टप्पा – थोरियम आणि U-233 : आता खरी थोरियमची कथा सुरू होते. तिसऱ्या टप्प्यात प्रमुख इंधनचक्र असे असेल :

Th-232 → U-233 → विखंडन

U-233 च्या विखंडनामधून ऊर्जा मिळेल आणि निर्माण होणारे न्यूट्रॉन पुन्हा थोरियमला U-233 मध्ये रूपांतरित करतील. याचाच अर्थ असा, की एक अणुभट्टी वीजही निर्माण करते आणि पुढील अणुइंधनदेखील निर्माण करते. यालाच बंदिस्त इंधनचक्र (closed fuel cycle) असे म्हणतात.

भारताच्या तिसऱ्या टप्प्यातील कार्यक्रमाचे उद्दिष्ट व्यापारी तत्त्वावर थोरियम इंधनांचा वापर करणे आहे. भाभा अणुशक्तिकेंद्राने यासाठी ३०० MWe प्रगत जड पाणी अणुभट्टी (Advanced Heavy Water Reactor, AHWR) विकसित करण्याचे काम केले आहे. प्रगत जड पाणी अणुभट्टीमध्ये थोरियमआधारित इंधन, जड पाण्याचा नियंत्रक (heavy-water moderator), साधे पाणी शीतलक म्हणून (light-water coolant) आणि सुप्त सुरक्षा प्रणाली यांची सांगड घालण्यात आली आहे.

AHWR – प्रगत जड पाणी अणुभट्टीमध्ये थोरियम इंधनचक्राचे प्रात्यक्षिक करण्याची संकल्पना आहे.

हिचा उद्देश केवळ ३०० MW वीज निर्माण करणे नाही. ती एक प्रकारे प्रश्नाचे उत्तर देणारी अणुभट्टी आहे : 'U-233 आणि थोरियम इंधनचक्र प्रत्यक्ष अणुभट्टीमध्ये सुरक्षितपणे आणि सातत्याने कसे चालवता येईल?' त्यामुळे प्रगत जड पाणी अणुभट्टी ही भारताच्या अणुकार्यक्रमाच्या तिसऱ्या टप्प्यासाठी तंत्रज्ञान सिद्ध करणारी अणुभट्टी म्हणून पाहणे अधिक योग्य ठरेल. अणुशक्ती विभागाच्या जुन्या अधिकृत

नोंदींमध्ये प्रगत जड पाणी अणुभट्टीसाठी इंधनाची जडणघडण, क्रिटिकल प्रयोग, औष्णिक हायड्रोलिक प्रयोग आणि सुप्त सुरक्षा यंत्रणा यावर झालेल्या कामाची नोंद आहे.

थोरियमचे फायदे : थोरियमचा इंधन म्हणून वापर करताना त्याचे फायदे काय आहेत हे पाहू या.

१. भारतातील मोठे थोरियमचा स्रोत : भारताच्या किनारी वाळूमध्ये मोनोझाईट मोठ्या प्रमाणात आढळते आणि मोनोझाईटमध्ये थोरियम असते. अणुशक्ती विभागाच्या मते मोनोझाईट हे नियंत्रित खनिज आहे.

२. युरेनियमवरील दीर्घकालीन अवलंबित्व कमी करण्याची क्षमता : थोरियमचा सर्वात मोठा भारतीय फायदा ऊर्जा सुरक्षेच्या दृष्टीने आहे.

३. अत्यंत मोठी ऊर्जा घनता : रासायनिक इंधनाच्या तुलनेत अतिशय कमी वस्तुमानामधून प्रचंड ऊर्जा मिळते.

४. बंदिस्त इंधन चक्र : वापरून झालेल्या इंधनामधील उपयोगी विखंडनक्षम मूलद्रव्य परत इंधनचक्रामध्ये आणता येते.

भारताचा संपूर्ण तीन-टप्प्यांचा कार्यक्रमच 'reprocess to reuse' या संकल्पनेवर आधारित आहे.

थोरियमच्या मर्यादा आणि अडचणी : थोरियम अणुभट्टीत टाकले की अणुभट्टी आपोआप चालत नाही. सुरुवातीला विखंडनक्षम पदार्थ तिथे असण्याची आवश्यकता आहे.

U-233 इंधनचक्र गुंतागुंतीचे आहे.

U-233 तयार झाल्यानंतर त्याच्याबरोबर काही अत्यंत विषारी अशी समस्थानिके तयार होतात, विशेषतः U-232. त्यामुळे इंधन हाताळणी आणि दुरून करावे लागणारे संरेखन (fabrication) अत्यंत आव्हानात्मक होते.

पुनर्प्रक्रिया अधिक कठीण : थोरियम इंधन चक्रासाठी रासायनिक प्रक्रिया, इंधन संरचना आणि पुनर्प्रक्रिया यांची स्वतंत्र तांत्रिक आव्हाने आहेत. नवइंधननिर्मिती (breeder) अर्थशास्त्र साध्य करणे सोपे नाही. केवळ थोरियम मुबलक आहे, म्हणून अमर्याद स्वस्त वीज मिळेल हा निष्कर्ष वैज्ञानिकदृष्ट्या योग्य नाही. खरा प्रश्न असा आहे की : थोरियम → U-233 → इंधन संरेखन → अणुभट्टी → पुनर्प्रक्रिया → पुन्हा इंधन हे संपूर्ण इंधनचक्र औद्योगिक प्रमाणावर किती कार्यक्षम, सुरक्षित आणि आर्थिकदृष्ट्या व्यवहार्य करता येईल?

सन २०४७चे नवे लक्ष्य आणि थोरियमचा त्याच्याशी संबंध : भारताचे सन २०४७ चे १०० गिगावॉट आण्विक क्षमता लक्ष्य हे ''१०० गिगावॉट थोरियम अणुभट्टीचे लक्ष्य नाही. फेब्रुवारी २०२५ मध्ये जाहीर केलेल्या अणुऊर्जा मिशनमध्ये सन २०४७पर्यंत १०० गिगावॉट अणुऊर्जा क्षमता हे व्यापक लक्ष्य ठेवले गेले आहे. त्याचबरोबर सन २०३३पर्यंत किमान पाच एतद्देशीय छोट्या मॉड्युलर अणुभट्ट्या (Small Modular Reactors (SMR)) कार्यान्वित करण्याचे लक्ष्य आहे. सन २०२६च्या अधिकृत आराखड्यानुसार :

सध्याची अणुवीजक्षमता – ८.७८ गिगावॉट

सन २०३१-३२ पर्यंत - सुमारे २२ गिगावॉट, त्यानंतर न्यूक्लियर पॉवर कॉर्पोरेशनकडून आणखी ३२ गिगावॉट

म्हणजे न्यूक्लियर पॉवर कॉर्पोरेशनची क्षमता सुमारे ५४ गिगावॉट अपेक्षित आहे. उर्वरित ४६ गिगावॉट अणुऊर्जा इतर सार्वजनिक उपक्रम, राज्ये, खाजगी आणि एकत्र येऊन केलेल्या प्रकल्पांमधून येण्याची अपेक्षा आहे. 'सन २०४७ चे १०० गिगावॉट हे भारताच्या अणुऊर्जा विस्ताराचे लक्ष्य आहे; थोरियम हा त्या संपूर्ण विस्ताराचा पर्याय नसून भारताच्या दीर्घकालीन बंदिस्त इंधनचक्राचा अंतिम धोरणात्मक टप्पा आहे.'

पाच SMRs आणि थोरियम : सन २०२५ च्या अणुऊर्जा मिशनमध्ये २०००० कोटी रुपयांची तरतूद करून सन २०३३ पर्यंत किमान पाच एतद्देशीय SMRs कार्यान्वित करण्याचे लक्ष्य ठेवले आहे. परंतु सध्या विकसित होत असलेले –

BSMR-200 - 220 MWe

SMR-55 - 55 MWe

HTGCR - up to 5 MWth

ह्या थोरियम अणुभट्ट्या म्हणून सरसकट सांगणे योग्य नाही. BSMR-200 हा प्रेशराईज्ड वॉटर आधारित रिॲक्टर आहे. त्यामुळे SMR कार्यक्रम आणि थोरियम तिसरा टप्पा कार्यक्रम हे दोन वेगळे कार्यक्रम आहेत आणि समांतर तंत्रज्ञाने आहेत.

यामुळे भारताच्या तीन-टप्प्यांच्या कार्यक्रमाचे मूल्यांकन करताना दोन विरुद्ध टोकांपासून दूर राहता येईल. 'भारताचा थोरियम कार्यक्रम अपयशी ठरला' असे म्हणणे चुकीचे ठरेल. पण 'भारताने थोरियम युग सुरू केले आहे' असे म्हणणेही सध्या अकाली ठरेल. भारत पहिला टप्पा पार करून दुसऱ्या टप्प्याच्या प्रत्यक्ष रिॲक्टर चालवण्यासाठीच्या उंबरठ्यावर पोहोचला आहे; तिसऱ्या टप्प्यासाठी आवश्यक थोरियम- U-233 तंत्रज्ञान विकसित करण्याचे काम सुरू आहे, परंतु व्यावसायिक थोरियम ऊर्जानिर्मिती अजून पुढील मोठी पायरी आहे.

100 GW लक्ष्य किती वास्तववादी? : अणुशक्ती विभागातील एकूण परिस्थितीचा आढावा घेताना आजपर्यंत

भारताची नेमकी प्रगती कितपत झाली आहे?

टप्पा	मूळ उद्दिष्ट	२०२६ मधील स्थिती
पहिला टप्पा	PHWR + natural uranium ' Pu	परिपक्व/कार्यरत
दुसरा टप्पा	FBR + Pu → अधिक विखंडनक्षम पदार्थ + Th → U-233	PFBR ने पहिली criticality गाठली – महत्त्वाचा निर्णायक टप्पा
तिसरा टप्पा	Th → U-233 → commercial power	अजून प्रत्यक्ष व्यावसायिक वापरापूर्वी संशोधन व तंत्रज्ञान विकासात्मक स्थिती

आलेल्या अडचणी, यापूर्वीचे लक्ष्य गाठायला झालेला उशीर, आंतरराष्ट्रीय निर्बंध आणि प्रत्यक्ष संसाधनांची उपलब्धता यांचा विचार करता, हे नवीन लक्ष्य किती वास्तववादी आहे, असा प्रश्न सर्वसामान्यांच्या मनात येणे अगदी स्वाभाविक म्हणावे लागेल. सध्या आपली अणुऊर्जा निर्मिती 8.78 GW वरून 100 GW म्हणजे सुमारे ११.४ पट वाढ येत्या २१ वर्षांत होण्याइतपत आपण प्रगती केली आहे का? सरकारच्या आराखड्यानुसार सन २०३१–३२ पर्यंत 22 GW गाठण्याचे नियोजन आहे. त्यासाठी अणुभट्ट्यांचे बांधकाम सुरू झालेले आहे. पण त्यानंतर सन २०४७ पर्यंत मोठ्या प्रमाणात जी वाढीव क्षमता आवश्यक आहे, ते लक्ष्य गाठण्यासाठी केवळ अणुभट्टी आराखडे पुरेसे नाहीत. त्यासाठी पुढील सर्व गोष्टी एकत्रितपणे यशस्वी व्हाव्या लागतील :

- अणुभट्टी बांधण्यासाठी लागणारा वेळ लक्षणीयरीत्या कमी करता येणे
- अर्थपुरवठा आणि भांडवली उपलब्धता
- एकद्देशीय निर्माणक्षमता वाढवणे
- आण्विक गुणवत्तेनुसार सुट्या भागांची निर्मिती व पुरवठासाखळी
- युरेनियमची उपलब्धता
- इंधनचक्र इन्फ्रास्ट्रक्चर
- नियंत्रक परवाने
- कुशल मानवसंसाधन
- खाजगी क्षेत्रातर्फे गुंतवणूक
- जनमानसात स्वीकारार्ह आणि जागा उपलब्धता

सरकारने सन २०२५मध्ये SHANTI कायद्यान्वये या क्षेत्रातील खाजगी गुंतवणुकीचा मार्ग खुला केला असून आण्विक केंद्रांमध्ये औद्योगिक क्षेत्रातील भागीदारी वाढवण्यावर भर दिला आहे. अणुशक्ती विभागाने मे २०२६ मध्ये विविध उद्योगांसोबत आण्विक ऊर्जेचा मार्ग आखण्यासाठी प्रयत्न सुरू केले आहेत. म्हणून 100 GW हे तांत्रिकदृष्ट्या अशक्य लक्ष्य नाही; पण ते विद्यमान 8.78 GW क्षमतेच्या तुलनेत अत्यंत मोठ्या औद्योगिक विस्ताराचे लक्ष्य आहे. त्याची पूर्तता मुख्यतः बांधकामाचा वेग, आर्थिक गुंतवणूक, नियंत्रक परवानग्या आणि सुरळीत कच्चा माल पुरवठा या गोष्टींवर अवलंबून राहील. आणि सर्वात महत्त्वाचे– 100 GW गाठले तरी त्यातील किती GW थोरियमवर आधारित असतील, हा स्वतंत्र प्रश्न आहे. थोरियम हा भारतासाठी आजचा अणुइंधनाचा पर्याय नाही; तो उद्याच्या अणुइंधनाची शक्यता आहे. त्यासाठी भारताला प्रथम नैसर्गिक युरेनियममधून प्लुटोनियम निर्माण करावे लागेल. त्या प्लुटोनियमच्या साहाय्याने फास्ट ब्रीडर रिॲक्टरची औद्योगिक शृंखला उभी करावी लागेल. त्यातून थोरियम–२३२ चे युरेनियम–२३३ मध्ये रूपांतर करण्याची क्षमता निर्माण करावी लागेल आणि अखेरीस U-233–थोरियम बंदिस्त इंधनचक्र व्यावसायिक स्तरावर सिद्ध करावा लागेल. म्हणून भारताचा थोरियम कार्यक्रम हा एका रिॲक्टरचा कार्यक्रम नाही. तो अनेक दशकांचा इंधनचक्र कार्यक्रम आहे. ६ एप्रिल २०२६ रोजी PFBRZo first criticality गाठली, हा त्या दीर्घ प्रवासातील तो महत्त्वाचा टप्पा आहे. पण तो अंतिम थोरियम युगाचा प्रारंभबिंदू नाही–तो त्या दिशेने जाणाऱ्या पुलाचा एक महत्त्वाचा टप्पा आहे. भारताची खरी कसोटी आता ही आहे की विज्ञानाने अनेक दशकांपूर्वी आखलेली तीन–टप्प्यांची कल्पना प्रयोगशाळेतून औद्योगिक वास्तवात किती यशस्वीपणे उतरवता येते.

- Sharad Kale
sharadkale@gmail.com



अन्न आणि ऊर्जा व्यवस्थापन

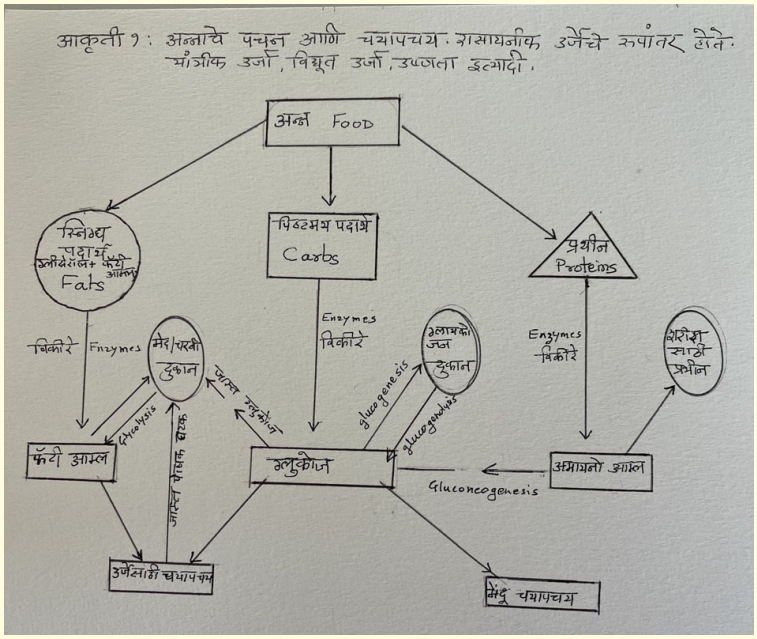
डॉ. वसुधा जोशी

ऊर्जेशिवाय कोणतीही कृती, काम, कार्य होऊच शकत नाही. थोडक्यात काय तर ऊर्जेशिवाय प्राणी, वनस्पती जिवंत राहू शकत नाही. एवढे सगळे काही ऊर्जेवर अवलंबून आहे आणि हेही आपल्याला माहीत आहे की नवीन ऊर्जा निर्माण होत नाही तसेच ती नष्टही होत नाही. ती फक्त आपले स्वरूप बदलते. त्यामुळे ऊर्जा फार जपून वापरली पाहिजे. त्यासाठी कमीत कमी ऊर्जा वापरून जास्तीत जास्त काम करू शकतील अशी यंत्रे बनवण्यासाठी चढाओढ चालू आहे. कारण ऊर्जेचे स्रोत ठरावीक प्रमाणात उपलब्ध आहेत. ते वाढू शकत नाहीत. वाढती लोकसंख्या आणि त्याबरोबर बदलती जीवनशैली, जीवनावश्यक गरजा, राहणीमान, घरे, प्रवास, प्रवासाची साधने इत्यादी इत्यादीसाठी लागणारी ऊर्जा आणि तिची मागणी वाढतच चालली आहे आणि ती वाढतच राहणार आहे. त्याचसाठी कमीत कमी ऊर्जा वापरून जास्तीत जास्त काम कसे करून घेता येईल हा संशोधनाचा विषय ऐरणीवर आहे. फक्त मानवाचे नाही तर प्रत्येक सजीवाचे शरीर म्हणजे मशीनच आहे. वनस्पतीसुद्धा याला अपवाद नाहीत. प्रत्येक क्रियेसाठी ऊर्जेची गरज असते. अगदी जिवंत राहण्यासाठी कराव्या लागणाऱ्या श्वासोच्छ्वासापासून खाल्लेल्या अन्नांचे पचन होऊन ऊर्जा मिळेपर्यंत सर्व क्रियांसाठी ऊर्जेची गरज असते. येथे आपले शरीर अन्नामधील रासायनिक ऊर्जा, अन्नाचे पचन आणि चयापचय या क्रियांच्या आधारे ATP नावाच्या बॅटरीमध्ये भरून ठेवते आणि चालणे (यांत्रिक ऊर्जा), विचार करणे (विद्युत ऊर्जा), शरीर गरम ठेवणे (उष्ण ऊर्जा) इत्यादी कामांसाठी वापरते. अशा प्रकारे अन्नातील रासायनिक ऊर्जेचे स्वरूप बदलते.

शरीराला ऊर्जा मिळवण्यासाठी इंधनाची गरज असते. आणि हे इंधन म्हणजे दुसरे तिसरे काही नाही, आपण खातो ते अन्न. आपण वेगवेगळ्या प्रकारचे, चवींचे अन्न ग्रहण करतो परंतु त्यातील मुख्य घटक तीन आहेत ज्यांच्यापासून शरीराला ऊर्जा मिळते. ज्या वेळी आपण काहीही काम करत नसतो तेव्हाही ऊर्जेची गरज असते. म्हणजेच मूलभूत चयापचय दर (Basic Metabolism Rate BMR). हा BMR माणसाचे वय, लिंग, कामाचे स्वरूप इत्यादी गोष्टींवर अवलंबून असतो. आपण जे अन्न सेवन करतो त्यातील पिष्टमय पदार्थ, स्निग्धपदार्थ आणि प्रथिने ह्या घटकांपासून आपल्याला ऊर्जा मिळते. अन्नपचनाला म्हणजेच ह्या घटकांचे विघटन होण्याची सुरुवात अन्न तोंडात घातल्यापासून होते. त्यासाठी वेगवेगळ्या विकरांची (enzymes) गरज असते. ही विकरे वेगवेगळ्या पदार्थांचे पचन करण्यासाठी वेगवेगळी असतात. उदाहरणार्थ, लाळेमध्ये अमायलेज हे विकर असते, त्यामुळे पिष्टमय पदार्थाच्या पचनाला तोंडातच सुरुवात होते. पोटामध्ये किंवा लहान आतड्यामध्ये यकृतातून किंवा इतर अवयवांमधून विकरे येऊन अन्नामध्ये मिसळतात आणि अन्नाचे विघटन/पचन होते. पिष्टमय पदार्थापासून ग्लुकोज, स्निग्धपदार्थापासून फॅटी आम्ल आणि प्रथिनापासून अमायनो आम्ल हे रेणू तयार होतात. अमायनो आम्लापासून ग्लुकोज बनवून (gluconeogenesis) ऊर्जा मिळवण्यासाठी इंधन म्हणून वापरले जाते. हे लहान रेणू पेशींमधील सायटोप्लाससममध्ये मिसळतात. प्रत्येक पेशीमध्ये मायटोकाँड्रिआ नावाचे ऊर्जा बनवण्याचे यंत्र/अवयव असते. अन्नातील हे छोटे मूलभूत रेणू मायटोकाँड्रिआमध्ये शिरतात. येथे रासायनिक प्रक्रिया होते आणि ATPची निर्मिती होते. म्हणजेच पेशींमध्ये या रेणूंचे चयापचय (metabolism) होते. म्हणूनच मायटोकाँड्रीआला पेशींचे पॉवर हाऊस असे म्हटले जाते. रक्तातील पेशींमध्ये मायटोकाँड्रिआ नसतात त्यामुळे त्यांना ऊर्जेसाठी ग्लुकोजवर अवलंबून राहावे लागते. ATP म्हणजे शरीराला ऊर्जा पुरवणारी बॅटरी. हे ATP रेणू शरीराच्या प्रत्येक पेशीमध्ये असतात. शरीर विश्रांती घेत असते तेव्हासुद्धा जिवंत राहण्यासाठी ज्या क्रिया चालू असाव्या लागतात त्यांना लागणारी ऊर्जा ATP पासून मिळत राहते. ATPची निर्मिती सतत चालूच असते. त्यासाठी प्राणवायूची गरज

असते. ग्लुकोजच्या एका रेणूपासून ३२ ATP रेणू निर्माण होतात. पण प्राणवायू नसेल तर फक्त २ ATP रेणू तयार होतात. फॅटी आम्लाच्या एका रेणूपासून १०० ATP रेणू निर्माण होतात. परंतु सगळ्याच पेशींमध्ये या तीनही रेणूपासून ATP बनवण्यासाठी लागणाऱ्या सर्व प्रणाली असतात असे नाही.

अन्नाचे पचन आणि चयापचय. रासायनिक ऊर्जाचे रूपांतर यांत्रिक ऊर्जा, विद्युतऊर्जा, उष्णता इत्यादी ऊर्जांमध्ये होते.



इंधन आणि त्यापासून निर्माण होणारी ऊर्जा

१. पिष्टमय पदार्थ : सर्वात महत्त्वाचे इंधन. पोटात गेलेल्या अन्नातील पिष्टममय पदार्थाच्या पचनाने ग्लुकोज ही साखर बनते. ही साखर आपल्या रक्तप्रवाहात शिरते आणि ती सर्व पेशींपर्यंत पोहोचते. मायटोकॉंड्रिआमध्ये साखरेचे रूपांतर ATP मध्ये केले जाते. रक्तातील पेशींमध्ये मायटोकॉंड्रिआ नसतात, येथे ग्लुकोजचे विघटन (glycolysis) होते. त्यातून उत्पन्न होणारी ऊर्जा ATPच्या निर्मितीसाठी वापरली जाते. तसेच, मेंदूला लागणाऱ्या ऊर्जेची निर्मिती ग्लुकोज वापरून केली जाते. कारण रक्तप्रवाहात ग्लुकोज त्वरित मिसळते आणि मेंदूच्या आवरणामधून मेंदूच्या पेशींमध्ये सहज शिरू शकतो. फॅटी आम्लाच्या रेणूच्या बाबतीत हे कठीण असते. शरीराला गरज असलेल्या ऊर्जेपैकी ५० ते ६० टक्के ऊर्जा मेंदू वापरतो. पिष्टमय पदार्थाचे विघटन फार त्वरेने होते. हे विघटन करणारी कार्यप्रणाली अत्यंत कार्यक्षम आहे. त्यामुळे शरीराला लागणाऱ्या ऊर्जेपैकी ५० ते ६० टक्के ऊर्जा पिष्टमय पदार्थापासून मिळते. मेंदूतील पेशींना मुख्यत्वे ATPच्या निर्मितीसाठी ग्लुकोजची आवश्यकता असते म्हणजेच त्या ग्लुकोजवर अवलंबून असतात.

पचन न झाल्यामुळे पिष्टमय पदार्थाचा काही अंश पुढे सरकत मोठ्या आतड्यामध्ये (colon) जातो. तेथे त्यावर मोठ्या आतड्यातील सूक्ष्म जिवाणूंच्या (gut bacteria) मदतीने आंबवण्याची (ferment) क्रिया होते. छोट्या फॅटी आम्ल साखळ्या तयार होतात त्यापासूनसुद्धा आपल्या शरीराला ऊर्जा मिळते.

२. ग्लायकोजेन : वापरली न गेलेली जास्तची साखर ग्लायकोजेन स्वरूपात, यकृत आणि स्नायूमध्ये गरज पडेल तेव्हा वापरता यावी म्हणून साठवली जाते.

३. स्निग्धपदार्थ : शरीराला बराच वेळ परंतु अल्पप्रमाणात ऊर्जेची गरज असते तेव्हा ती या घटकाच्या विघटनानंतर मिळते. शरीराला हलकी कामे किंवा विश्रांतीच्या दरम्यान बराच वेळ पुरेल अशी ऊर्जेची तजवीज होते.

४. प्रथिने : मुख्यत्वेकरून स्नायू घडवण्यासाठी उपयोगी पडतात, त्याचबरोबर पिष्टमय आणि स्निग्धपदार्थाचा अभाव असेल तर प्रथिने तोडून शरीर ऊर्जा मिळवते.

५. प्राणवायू : हा ऊर्जा मिळवण्याचे इंधन नाही. तरीही मायटोकॉंड्रिआमध्ये ऑक्सिडेटिव्ह फॉस्फोरीलेशन होते तेव्हा O_2च्या साहाय्याने ATPची निर्मिती जास्त प्रमाणात होते. त्यामुळे ऊर्जा जास्त मिळते.

६. सूर्यप्रकाशामध्ये शरीराची ऊर्जाप्रणाली (system) सुरळीत चालायला मदत होते. मुख्यत्वे मेलाटोनिन (melatonin) आणि कार्टिसोल (cortisol) हॉर्मोनसची निर्मिती योग्य वेळी आणि प्रमाणबद्ध पद्धतीने होते. तसेच सूर्यप्रकाशात आपले शरीर कातडीखाली vit D तयार करू शकते. शरीरातील बऱ्याच प्रक्रिया आणि शारीरिक स्वास्थ्य या व्हिटामिनमुळे सुरळीत चालते.

७. ऊर्जेची निर्मिती फायदेशीर होण्यासाठी काही जीवनसत्त्वे आवश्यक असतात. महत्त्वाची जीवनसत्त्वे

तक्ता १. इंधन प्रकार आणि वापर

	पिष्टमय पदार्थः ग्लुकोज, ग्लायकोजेन	स्निग्धपदार्थः फॅटी ॲसिड
ऊर्जा	तत्काळ आणि भरपूर	सावकाश परंतु सतत, खूप वेळ
O2	गरज नाही किंवा थोड्या प्रमाणात	भरपूर O_2 आवश्यक
साठा	थोडा, २००० कॅलरी पर्यंत	भरपूर, हजारो कॅलरी
केव्हा उत्तम	थोड्या वेळासाठी तत्काळ उर्जा हवी असते तेव्हा	खूप वेळासाठी उर्जेची गरज असते तेव्हा

म्हणजे vit B1, B2, B6, B12, niacin, vit C, vit k आणि vit E.

८. Ca, Fe आणि Mg ही खनिजे काही विकरांच्या (enzymes) कार्यासाठी आवश्यक असतात. ही खनिजे नसतील तर अन्नपचन किंवा चयापचय या क्रियांमध्ये बाधा येते.

आपल्या शरीराला क्षणोक्षणी ऊर्जेची गरज असते. कोणतीही शारीरिक क्रिया ऊर्जेशिवाय होऊ शकत नाही. अगदी श्वासोच्छ्वासापासून पाहणे, ऐकणे, बोलणे, चालणे, हसणे, अन्नपचन, रक्ताभिसरण इत्यादी प्रत्येक क्रिया ऊर्जा असेल तरच घडतात. आपण वेगवेगळ्या प्रकारचे व्यायाम करतो त्यासाठीसुद्धा पुष्कळ ऊर्जा गरजेची असते. कोणत्या क्रियेसाठी किंवा कामासाठी किंवा व्यायामासाठी ऊर्जा कुठून मिळवावी म्हणजे ऊर्जेचा कोणता स्रोत वापरावा हे आपले शरीर ठरवते. त्यासाठी ऊर्जेची गरज आणि त्या क्रियेसाठी लागणारा वेळ यांचा विचार केला जातो. शरीर ठरवते ऊर्जेचा कोणता स्रोत वापरणे गरजेचे आणि फायद्याचे आहे. सर्वसाधारणपणे आपले शरीर पिष्टमय पदार्थ आणि स्निग्धपदार्थ या दोन्ही घटकांचा ऊर्जा मिळवण्यासाठी उपयोग करत असते परंतु तरीही किती ऊर्जा लागेल आणि किती वेळ लागेल यावर ऊर्जेचा स्रोत ठरवला किंवा बदलला जातो. तसेच, प्राणवायूची उपलब्धता किती आहे याचाही विचार केला जातो.

इंधनप्रकार आणि वापर

- हलका आणि मध्यम स्वरूपाचा व्यायाम : चालणे, पळणे किंवा सायकल चालवणे इत्यादी. हे व्यायाम उघड्यावर मोकळ्या वातावरणात केले जातात. प्राणवायू भरपूर असतो. अशा परिस्थितीत आपले शरीर ऊर्जेसाठी स्निग्धपदार्थ वापरते.
- कठीण स्वरूपाचा व्यायाम : यात कोणताही व्यायाम म्हणजे जोरात धावणे, जड वजन उचलणे किंवा शक्य असेल तेवढ्या वेगात सायकल चालवणे यासाठी अचानक थोड्या वेळासाठी खूप ऊर्जा लागते. स्निग्ध पदार्थापासून ऊर्जा मिळवण्यासाठी शरिराला जास्त वेळ लागतो आणि प्राणवायूसुद्धा जास्त प्रमाणात लागतो. अशा वेळी ग्लुकोज किंवा ग्लायकोजेनपासून ऊर्जा मिळवणे तत्काळ आणि सोपे असते. यासाठी जास्त प्राणवायू आवश्यक नसतो.

अशा प्रकारे शरीर ठरवते की कोणते इंधन वापरून ऊर्जा मिळवावी. याचबरोबर किती वेळ ऊर्जेची गरज असणार आहे याची दखल घ्यावी लागते. अर्ध्यातासपर्यंत ग्लुकोज किंवा ग्लायकोजेन इंधन म्हणून वापरले जाऊ शकते. हळूहळू हे इंधन कमी पडू लागते इन्सुलिनची पातळी कमी होऊ लागते. आपत्तिकालीन हॉर्मोनची निर्मिती सुरू होते. एपिनेफ्रिन (ॲड्रेनलीन) आणि ग्लुकॅगॉन यांची पातळी वाढू लागते. अशा वेळी शरीराला स्निग्धपदार्थ इंधन म्हणून वापरावे लागतात कारण ते जास्त वेळ (तास) ऊर्जा देऊ शकतात. सोबतच्या तक्त्यात दिले आहे की आपले शरीर ऊर्जेचे व्यवस्थापन कसे करते.

अशा प्रकारे इंधनाचा कोणता स्रोत वापरावा तसेच गरजेप्रमाणे स्रोत कसा बदलावा हे मेंदू ठरवत असतो. अन्न हे ऊर्जा मिळवण्याचे सर्वात महत्त्वाचे इंधन असले तरीही ऊर्जा मिळवणे किफायतशीर होण्यासाठी काही जीवनसत्त्वे आणि खनिजे यांची आवश्यकता असते. त्यांच्या अभावी अन्नाचे पचन आणि चयापचय पद्धतशीर आणि किफायतशीर होणार नाही. इथेही कमी इंधन वापरून जास्त ऊर्जा मिळाली तर उत्तमच. जास्त ऊर्जेची गरज नसेल तर शरीराला इंधनाचा पुरवठा कमी करणे गरजेचे असते. तसे न झाल्यास शरीरामध्ये मेद (फॅट) जमा होतो. शरीराला लठ्ठपणा येतो.

– वसुधा जोशी
josudha47@gmail.com



वनांचे व्यवस्थापन आणि आरोग्य...

डॉ. मंजुश्री कुलकर्णी

१० ऑक्टोबर 'मानसिक आरोग्य दिवस'... जागतिक आरोग्य संघटनेनं समाजामध्ये जागरूकता निर्माण करण्याच्या उद्देशाने असे अनेक दिवस नेमून दिले आहेत. आपणदेखील अगदी उत्साहानं असे दिवस, आठवडे, महिने साजरे करतो आणि विसरून जातो. मानसिक आरोग्य हा विषय हाताळताना डॉ. आनंद नाडकर्णी या उत्तुंग व्यक्तिमत्त्वाला अभिवादन केल्याशिवाय पुढे जाणे केवळ अशक्य! समाजात मानसिक आरोग्याबाबतीत जागरूकता निर्माण करण्यासाठी अख्खं आयुष्य वेचलं त्यांनी.

पण आजही काय परिस्थिती दिसते आपल्याला? आपल्या शरीराचा/आयुष्याचा अत्यंत दुर्लक्षित अवयव/घटक कोणता? अर्थातच 'मन'! दिसत नसलं तरी त्याचं आस्तित्व मान्य करायलाच पाहिजे नं! होतं काय? हात दुखतोय, पाय सुजतोय, श्वास घ्यायला त्रास होतोय अशा तक्रारींकडे लगेच लक्ष दिलं जातं. तेच कोणी 'माझ्या मनाला त्रास होतोय, उदास वाटतंय, चिडचिड होतेय' असं सांगतं त्या वेळी काय उत्तर मिळतं बरं? किती महत्त्व दिलं जातं अशा तक्रारींना? अगदी बोलीभाषेत सांगायचं झालं तर 'काय धाड झालीये? चांगली/ला धडधाकट तर दिसते/तो आहे!... काऽऽही झालं नाहीये. ऊठ, कामाला लाग!''... हेटाळणीच म्हणा नं!... मन पण बिचारं गप्प बसतं सुरुवातीला. दुर्लक्ष करतं स्वतःकडे... शरीर आणि बाह्यव्यवहार तर सुरू राहायलाच हवेत... पण...

बरं! मानसिक अनारोग्य म्हणजे फक्त वेड किंवा वेडाचा झटका एवढ्यातच सीमित आहे का? आपल्या आजूबाजूला जे घडतं आहे, ते आपण डोळसपणे पाहतो आहोत का? दिवसेंदिवस वाढत चाललेली गुन्हेगारी प्रवृत्ती, व्यसनाधीनता, आत्महत्या, घटस्फोट, दंगेधोपे... काय दर्शवतात? मानसिकदृष्ट्या संतुलीत समाजाचं हे द्योतक म्हणता येईल का? फार लांब कशाला? अतिरेकी स्पर्धा प्रवृत्ती अगदी प्राथमिक शाळेपासून दिसते आहे. हे मानसिक आरोग्याचं लक्षण म्हणता येईल का? आत्महत्या, गुन्हेगारी अशी अचानक घडून येणारी घटना आहे का? नक्कीच नाही. मनाची मशागत कमी पडल्याचं, किंबहुना दुर्लक्ष केल्याचंच हे फलित आहे.

आत्महत्या, गुन्हेगारी या निदर्शनाला येणाऱ्या गोष्टी झाल्या. पण दैनंदिन जीवनात आपण प्रत्येक जण काय करतो आहोत? कसं जगतो आहोत? आपण आपल्या मनाच्या आरोग्याची काळजी घेतो का? आपल्या मुलांना याबाबतीत जागरूक करतो आहोत का? जरा डोकावून पाहा बरं आतमध्ये! काय दिसतं आहे भरलेलं? शांतता आहे? समाधान आहे? एखाद्या गोष्टीचा निखळ आनंद घेतलेला आठवतोय?...

काय दिसतंय मग? घड्याळाच्या काट्यावर पळण्याचं वेळापत्रक! हल्ली तर हे वेळापत्रक वर्षाच्या वाढदिवसापासूनच डोक्यात बसवावं लागतं. Day care, Playgroup, Nursery पासून सुरू झालेली ही कसरत कधी थांबते? दिसताना फक्त वेळ पाळण्याची शिस्त दिसली तरी त्यामागे मनात काय काय घडतं? अखंड धास्ती, भीती आणि त्यावर उपाय म्हणून शरीर अखंड युद्धपातळीवर, ALert modeवर! प्रत्येकाच्या मनात comparison, competition, compromise...! ध्येय उच्च असावं, पण त्यासाठी प्रामाणिक कष्ट करणारे किती? आणि असूया, राग निर्माण करून घेणारे किती? धीरानं मार्गक्रमण करणारे किती? आणि योग्य अयोग्यचा विचार न करता धावणारे किती? जिद्द हा गुण कुणाच्या मनात सापडेल?

शास्त्र सांगतं, माणसांच्या एकमेकांच्या सहवासानं, संवादानं (सुसंवादानं), स्पर्शाने Oxytocinसारखी संप्रेरके, ज्याला Happy / Love hormones म्हणतात; ती भरपूर प्रमाणात स्रवतात. आज आपल्या आयुष्यात अशा किती व्यक्ती आहेत, ज्यांना आपण प्रत्यक्ष भेटतो? एकमेकांसमोर मन मोकळं करतो? Internetच्या मायाजालात एकटेपणाचा राक्षस आपल्या मनात घर करतोय; याकडे आपण साफ दुर्लक्ष करतो आहोत. कोणकोणत्या भावना आपण पोसतो

आहोत मनामध्ये? काळजी, चिंता, राग, असूया, दुःख, अपमान, संताप, चिडचिड, एकटेपण, कमीपणा, निराशा, असुरक्षितता, अविश्वास... न संपणारी यादी! आणि अशा भावनांनी भरलेलं मन निरोगी म्हणायचं का? या अशा भावनांचा अतिरेक झाला की काहीतरी वेडीवाकडी कृती घडते किंवा शरीर असहकार पुकारते. आजार राहायला येतात शरीरात...

निरोगी मन कसं ओळखायचं? काय असेल त्यामध्ये भरलेलं? प्रेम आहे, अनुकंपा (Compassion), सहवेदना (empathy) आहे, आनंद आहे, आपुलकी, समाधान आहे... ध्येय पण आहे! पण हे ध्येय स्वतःपुरतं मर्यादित नाही किंवा आभासी, भौतिक गोष्टींपुरते सीमित नाही. 'स्व'च्या सीमारेषा ओलांडणारं, समाजाला, देशाला, निसर्गाला सामावून घेणारं असं ध्येय – याला अगदी योग्य शब्द म्हणजे Noble Goal! आणि हे ध्येय गाठण्यासाठी जिद्द, सातत्य, धीर धरण्याची, धडपडण्याची तयारी (patience , optimism) आहे. आत्मविश्वास आहे. प्रामाणिक प्रयत्न आहेत. सृजनशीलता आहे. उत्साह आहे. सकारात्मकता आहे.

आयुष्यात यशस्वी होण्याची ओढ प्रत्येकालाच आहे. पण 'यश' म्हणजे नक्की काय? पैसा, प्रतिष्ठा, श्रीमंती ही यशाची रूढ झालेली व्याख्या आहे. पण या गोष्टी आपल्याला मानसिक आरोग्य प्रदान करतायत का? हे आत्मपरीक्षण केलं जातं का? याच्याही पलीकडे काही गोष्टी आहेत, ज्या तुम्हाला खऱ्या अर्थानं यशस्वी बनवतात. मनाची व्यापकता, अनुकंपा, दुसऱ्यांचं दुःख निवारणाची इच्छा, निसर्गावरचं प्रेम... अगदी शिवाजीमहाराजांपासून सध्याचं आमटे कुटुंब... अशा अनेकांचे यशस्वितेचे मापदंड कोणते? आणि मानसिक आरोग्याच्या दृष्टीनं सुदृढ कोण?

आता महत्त्वाचा मुद्दा हा की या मनाचं आरोग्य टिकवायचं कसं? मनाची मशागत करायची म्हणजे नक्की काय करायचं? पहिली अत्यंत महत्त्वाची गोष्ट म्हणजे आपल्या मनाच्या आस्तित्वाची जाणीव ठेवणं. माझ्या मनात कोणकोणत्या भावनांचं वास्तव्य आहे? मी कोणत्या भावनांना साठवून ठेवून खतपाणी घालत आहे? अपमान, तिरस्कार, सूड, राग, अहंकार अशा भावना की दया, प्रेम, आपुलकी, समाधान? आत्मपरीक्षण आणि ध्यानसाधनेच्या मदतीनं आपण आपलं मन वाचू शकतो. भावनांची त्सुनामी शांत करू शकतो.

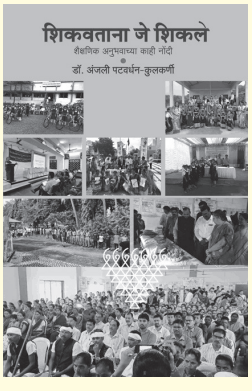
भावनांची जाणीव झाल्यानंतर पुढची पायरी येते ती Let Go! सोडून देणं. आठवणींना आणि त्या अनुषंगानं येणाऱ्या भावनांना साठवून, दाबून ठेवून काय होणार आहे? चक्रवाढ व्याजासह त्या आपल्याला मानसिक अस्वास्थ्य आणि शारीरिक आजाराची परतफेड करणार! आणि विचार करून पाहा... कोणत्या प्रकारच्या भावना आपण साठवून ठेवतो बरं? सकारात्मक की नकारात्मक?... आणि म्हणून या भावनांना सोडून देणं, आपल्या विचारांमध्ये त्यांना स्थान न देणं हे अतिशय उत्तम! श्वासावर नियमन आणि शारीरिक व्यायाम या दोन्हीमुळे भावनांचा निचरा करणं, त्यांना सोडून देणं सोपं होतं. अर्थातच, या गोष्टींमध्ये सातत्य हवं, याचा सराव हवा.

'यश' या संकल्पनेवर विचार करताना, मनाच्या आरोग्याच्या दृष्टीनं महत्त्वाची गोष्ट ही की बऱ्याचदा यशामुळे आनंद, समाधान मिळण्याऐवजी त्याची ओढ लागते. 'आणखी हवं, अजून हवं' असं म्हणत धावताना दमछाक होऊन आयुष्य संपलेलंही कळत नाही आणि म्हणून 'आपल्या सीमारेषा, limits किंवा Boundaries' ठरवणं आणि 'समाधान' ही भावना जागृत ठेवणं ही मानसिक आरोग्याची आणखी एक पायरी!

या सगळ्या भावनांमध्ये श्रेष्ठ भावना कोणती? मनःस्वास्थ्य आणि निरामय जीवनाची गुरुकिल्ली म्हणजे 'कृतज्ञता'! माणसांबद्दल, निसर्गाबद्दल आणि सर्व चराचर सृष्टीची निर्मिती आणि पालनपोषण करणारी अदृश्य शक्ती, Superpower; यांच्याबद्दल आदर, आभार यांची जाणीव ठेवणं; त्या Superpower समोर नतमस्तक होणं हे मनाला सुदृढ बनवण्याचं सर्वोच्च साधन, असं म्हटलं तर ते अगदी योग्य होईल.

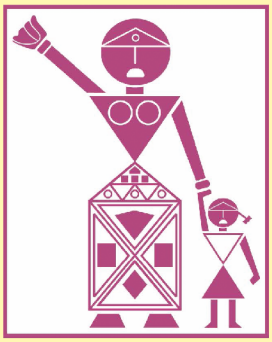
– डॉ. मंजुश्री कुलकर्णी
manjushree1205@gmail.com

ग्रंथाली



शिकवताना जे शिकले
अंजली पटवर्धन–कुलकर्णी
मूल्य : २०० रुपये । सवलतीत : १२० रुपये





STREE MUKTI SANGHATANA WITH PARISAR BHAGINI VIKAS SANGHA

IN SERVICE OF THE SOCIETY

We have technologies to take care of your waste.

Nisargruna technology

BARC

For biogas and manure generation

Nisargruna rapid composting technology

Nisargruna Foundation

Dry waste collection and segregation

FOR

Housing societies • Small and large restaurants
Urban local bodies • Bulk waste generators

For implementation contact

smsmum@gmail.com

GOA WASTE MANAGEMENT CORPORATION



WASTE CATEGORIES

Wet



Waste that can decompose.

Leftover food
Spoilt food
Fruit & Vegetable peels
Milk products
Seafood waste
Fish bones
Meat bones
Egg-shells,
Hair
Coconut shell & husk
Dead animals
Soiled paper
Garden waste.



(Composting unit)

Recyclable Dry Waste

Waste which does not decompose but can be recycled.

Paper & Cardboard



News Paper, Paper, Paper-cups & plates, Cardboard box, TetraPak

Plastic



Plastic bottles, cups, bags, containers & Hard plastic

Glass & Metal



Glass, glass bottle, Aluminium foil, All kind of metal

Non Recyclable Waste

Waste which does not decompose & can't be recycled.



Thermocol, Chips packet, Rubber items, Cloth, Rexine, Leather, Vinyl

WHAT CAN I DO?



TIPS TO BE A GREAT WASTE WARRIOR

If you follow these tips, you can be a true waste warrior & reduce the amount of trash that ends up in landfills & dumpsites.

A) REFUSE – do not accept plastic bottles, straws, unnecessary packaging.





REDUCE - your own waste
REUSE-whatever you can
RECYCLE-the rest, is always best!

B)Identify the nearest recycler (Kabadiwala) or authorised person from your panchayat & hand over your waste to them. You could even earn some pocket money by selling your recyclable items to a recycler.





C)Shop from your local grocery shop & remember to bring your own shopping bag instead of asking for a plastic bag.

D)Carry your own reusable bags, water bottle & tiffin when you go out.

E)Do not litter. Never throw ANY wrapper or garbage into the open. It is illegal, a danger to life & looks terrible too. Put your waste away until you find a bin or get back home.



F)If you notice others littering, politely teach them not to litter.

G)Find out where your parents dispose your family's waste & teach them some best practices for responsible waste disposal.

DO YOU KNOW?



We generate more than 800 tonnes of waste every day in Goa. This is equivalent to 800 classrooms full of garbage per day.

When we carelessly generate mixed waste, a toxic liquid called 'leachate' leaks out of it. This liquid is dangerous to humans & the environment too. Leachate is polluting our drinking water.

The burning of plastic generates dangerous gaseous substances such as 'dioxins' & 'furans', they can cause diseases like cancer. So, burning of waste is bad for our health and is illegal too.



Zero Waste Goa

NEED ASSISTANCE? YOU MAY PLEASE GET IN TOUCH WITH...

Goa Waste Management Corporation, Saligao

for assistance or more information on waste managment or to book your visit to Saligao Solid Waste Managment Facility -

Shashank Dessai - 9923326872 Samir Natekar - 9922815596

Email: contact@zerowastegoa.com