अपशिष्ट से ऊर्जा उत्पादन के माध्यम से ऊर्जा संरक्षण का अध्ययन

डॉ. राहुल कुमार
विभाग: भौतिकी
Email id : uk.drrahul@gmail.com

सार

ऊर्जा की बढ़ती वैश्विक मांग, जीवाश्म ईंधनों की सीमित उपलब्धता, नगरों में तेजी से बढ़ता ठोस अपशिष्ट और जलवायु परिवर्तन की तीव्र होती चुनौती ने अपशिष्ट–से–ऊर्जा को एक महत्वपूर्ण शोध एवं नीति–विषय बना दिया है। संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम की रिपोर्ट के अनुसार वैश्विक नगरपालिका ठोस अपशिष्ट 2023 के लगभग 2.1 अरब टन से बढ़कर 2050 तक 3.8 अरब टन तक पहुँच सकता है, यदि अपशिष्ट प्रबंधन प्रणालियों में निर्णायक सुधार न किए जाएँ। इसी के साथ विश्व बैंक की नवीन रिपोर्ट यह संकेत करती है कि अपशिष्ट को केवल निपटान की समस्या के रूप में नहीं, बल्कि संसाधन, ऊर्जा और परिपत्र अर्थव्यवस्था के आधार के रूप में देखने की आवश्यकता है। प्रस्तुत शोध–पत्र का उद्देश्य अपशिष्ट से ऊर्जा उत्पादन की संकल्पना को सरल किन्तु शैक्षणिक रूप में स्पष्ट करना, अपशिष्ट के प्रकारों और ऊर्जा–परिवर्तन तकनीकों का विवरण देना, ऊर्जा संरक्षण में इस क्षेत्र की भूमिका का विश्लेषण करना, तथा भारत जैसे विकासशील देशों के लिए इसकी उपयोगिता और सीमाओं का मूल्यांकन करना है। शोध–पत्र वर्णनात्मक प्रकृति का है तथा यह प्रकाशित पुस्तकों, समीक्षा–लेखों, सरकारी रिपोर्टों, अंतरराष्ट्रीय संस्थागत दस्तावेजों और नीतिगत स्रोतों पर आधारित है। अध्ययन से स्पष्ट होता है कि बायोगैस, जैव–सीएनजी, दहन, गैसीकरण, पायरोलिसिस, लैंडफिल गैस पुनर्प्राप्ति तथा कृषि–अवशेष आधारित ऊर्जा जैसी तकनीकें ऊर्जा विविधीकरण, जीवाश्म ईंधनों पर निर्भरता में कमी, कचरा प्रबंधन, ग्रीनहाउस गैसों के नियंत्रण तथा स्थानीय ऊर्जा सुरक्षा को मजबूत कर सकती हैं। साथ ही, यह भी स्पष्ट होता है कि तकनीकी चयन, स्रोत–स्तरीय पृथक्करण, वित्तपोषण, उत्सर्जन नियंत्रण और संस्थागत समन्वय के बिना अपशिष्ट–से–ऊर्जा परियोजनाएँ अपेक्षित परिणाम नहीं दे पातीं। इसलिए ऊर्जा संरक्षण को केवल बचत तक सीमित न रखते हुए संसाधनों के वैज्ञानिक पुनःउपयोग, स्थानीयकरण और पर्यावरण–अनुकूल परिवर्तन से जोड़ना आवश्यक है।

महत्वपूर्ण शब्दः अपशिष्ट–से–ऊर्जा, ऊर्जा संरक्षण, बायोगैस, नगरपालिका ठोस अपशिष्ट, वैकल्पिक ऊर्जा, सतत विकास, वैज्ञानिक प्रौद्योगिकी

1. प्रस्तावना

आधुनिक सभ्यता का विकास ऊर्जा की उपलब्धता पर निर्भर रहा है। औद्योगीकरण, परिवहन, डिजिटल अवसंरचना, कृषि–उत्पादन, शहरी जीवन और घरेलू उपभोगकृसभी क्षेत्रों की कार्यक्षमता ऊर्जा के निरंतर और विश्वसनीय प्रवाह से जुड़ी हुई है। लेकिन ऊर्जा मांग में निरंतर वृद्धि के साथ–साथ जीवाश्म ईंधनों पर अत्यधिक निर्भरता ने दोहरी समस्या पैदा की हैः एक ओर पारंपरिक स्रोत सीमित और महंगे होते जा रहे हैं, दूसरी ओर उनके उपयोग से कार्बन उत्सर्जन, वायु प्रदूषण और जलवायु संकट गहरा रहा है। इसी समय शहरीकरण, उपभोक्तावाद और बदलती जीवन शैली के कारण ठोस तथा जैविक अपशिष्ट की मात्रा भी तेजी से बढ़ रही है। संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम और अंतरराष्ट्रीय ठोस अपशिष्ट संघ की रिपोर्ट ने रेखांकित

किया है कि यदि वर्तमान प्रवृत्तियाँ बनी रहीं तो विश्व में अपशिष्ट की मात्रा 2050 तक बहुत अधिक बढ़ जाएगी, जिससे पर्यावरण, स्वास्थ्य और स्थानीय निकायों पर आर्थिक बोझ भी बढ़ेगा (यूएनईपी और आईएसडब्ल्यूए, 2024)।

ऊर्जा और अपशिष्ट की यह दो अलग–अलग दिखने वाली समस्याएँ वास्तव में एक–दूसरे से गहराई से जुड़ी हुई हैं। जो पदार्थ आज कचरा समझकर फेंक दिए जाते हैं, उनमें से बड़ी मात्रा ऐसी है जिसे ताप, गैस, विद्युत, जैव–ईंधन अथवा अन्य उपयोगी ऊर्जा रूपों में परिवर्तित किया जा सकता है। इसी सिद्धांत पर अपशिष्ट–से–ऊर्जा की अवधारणा आधारित है। विश्व बैंक के अनुसार अपशिष्ट प्रबंधन के पारंपरिक 'इकट्ठा करो और फेंको' मॉडल को अब संसाधन–पुनर्प्राप्ति और परिपत्र अर्थव्यवस्था की दिशा में बदलने की आवश्यकता है, क्योंकि अपशिष्ट में ऊर्जा, पोषक तत्व और पुनःप्रयुक्ति की क्षमता निहित होती है (विश्व बैंक, 2024)।

भारत के संदर्भ में यह विषय विशेष रूप से महत्वपूर्ण है। यहाँ नगर ठोस अपशिष्ट, कृषि–अवशेष, पशुधन–आधारित जैविक अपशिष्ट, खाद्य–प्रसंस्करण उद्योगों का कचरा, सीवेज स्लज और औद्योगिक अवशेष जैसी विविध अपशिष्ट धाराएँ उपलब्ध हैं। यदि इनका वैज्ञानिक उपयोग किया जाए, तो ग्रामीण क्षेत्रों में स्वच्छ ईंधन, कस्बों में विकेंद्रीकृत बायोगैस, शहरों में ऊर्जा–उत्पादन संयंत्र और उद्योगों में अपशिष्ट ऊष्मा पुनर्प्राप्ति जैसे विकल्प विकसित किए जा सकते हैं। यही कारण है कि भारत सरकार के नवीन एवं नवीकरणीय ऊर्जा मंत्रालय ने शहरी, औद्योगिक और कृषि अपशिष्टों से बायोगैस, बायो–सीएनजी, शक्ति तथा उत्पादक गैस उत्पन्न करने हेतु औपचारिक कार्यक्रमों और वित्तीय सहायता का प्रावधान किया है (एमएनआरई, 2025)।

प्रस्तुत शोध–पत्र का उद्देश्य इस उभरते क्षेत्र को तकनीकी जटिलताओं से परे, सरल लेकिन शोधपरक शैली में समझाना है। इस अध्ययन में अपशिष्ट की प्रकृति, ऊर्जा–रूपांतरण की मुख्य तकनीकें, ऊर्जा संरक्षण में उनकी भूमिका, पर्यावरणीय लाभ, सीमाएँ और भारतीय संभावनाएँ क्रमबद्ध रूप से विवेचित की गई हैं।

2. अध्ययन के उद्देश्य और शोध की प्रकृति

यह शोध–पत्र वर्णनात्मक प्रकृति का है। इसका लक्ष्य किसी एक संयंत्र, शहर या राज्य के सांख्यिकीय परीक्षण तक सीमित नहीं है, बल्कि अपशिष्ट–से–ऊर्जा के पूरे बौद्धिक एवं व्यावहारिक क्षेत्र को व्यवस्थित रूप से प्रस्तुत करना है। अध्ययन के लिए सरकारी रिपोर्टें, अंतरराष्ट्रीय आकलन, नीतिगत दस्तावेज, समीक्षा लेख और शोध–पत्रों का उपयोग किया गया है। इस प्रकार यह लेख साहित्य–आधारित संकलन और विश्लेषण दोनों का सम्मिलित रूप है।

अध्ययन के मुख्य उद्देश्य हैं:

(1) अपशिष्ट–से–ऊर्जा की संकल्पना को स्पष्ट करना;

(2) विभिन्न प्रकार के अपशिष्ट और उनकी ऊर्जा–क्षमता को समझना;

(3) बायोगैस, दहन, गैसीकरण, पायरोलिसिस, लैंडफिल गैस तथा जैव–ईंधन जैसी प्रमुख तकनीकों की शैक्षणिक व्याख्या करना;

(4) ऊर्जा संरक्षण और संसाधन दक्षता में इन तकनीकों की भूमिका का विश्लेषण करना;

(5) भारतीय परिस्थिति में अवसरों, नीतियों और चुनौतियों का विवेचन करनाय तथा

(6) यह समझना कि किस प्रकार अपशिष्ट–आधारित ऊर्जा परियोजनाएँ सतत विकास, पर्यावरणीय सुरक्षा और स्थानीय अर्थव्यवस्था को सशक्त बना सकती हैं।

इस शोध का एक अप्रत्यक्ष उद्देश्य यह भी है कि ऊर्जा संरक्षण की पारंपरिक धारणाकृजिसे अक्सर केवल कम उपयोग या बचत के रूप में देखा जाता हैकृउसे संसाधनों के बुद्धिमत्तापूर्ण पुनर्चक्रण और पुनःउपयोग से जोड़ा जाए। जब अपशिष्ट में अंतर्निहित ऊर्जा को उपयोगी रूप में बदला जाता है, तब यह केवल ऊर्जा उत्पादन नहीं होताय यह ऊर्जा संरक्षण, कचरा न्यूनीकरण और पर्यावरणीय प्रबंधन का एकीकृत मॉडल बन जाता है (अलाओ, पोपुला और आयोडेले, 2022)।

3. अपशिष्ट–से–ऊर्जा की अवधारणाः अर्थ, सिद्धांत और सीमा

अपशिष्ट–से–ऊर्जा का सामान्य अर्थ हैकृऐसे अपशिष्ट पदार्थों से उपयोगी ऊर्जा प्राप्त करना जिन्हें अन्यथा त्याज्य माना जाता है। परंतु शैक्षणिक दृष्टि से यह संकल्पना इससे कहीं व्यापक है। इसमें अपशिष्ट की संरचना, उसकी नमी, ऊष्मीय मान, जैव–अपघटनशीलता, पृथक्करण की गुणवत्ता, संग्रहण–प्रणाली, रूपांतरण तकनीक, प्रदूषण नियंत्रण और अंतिम उपयोग सभी तत्वों का समावेश होता है। इसलिए अपशिष्ट–से–ऊर्जा केवल मशीन या प्लांट नहीं हैय यह संसाधन–प्रबंधन की एक संपूर्ण प्रणाली है।

इस क्षेत्र का मूल सिद्धांत यह है कि हर अपशिष्ट धारा समान नहीं होती। जैविक कचरा, रसोई अवशेष, पशुधन अपशिष्ट, कृषि–अवशेष, प्लास्टिक–मिश्रित सूखा अपशिष्ट, सीवेज स्लज, औद्योगिक कार्बनिक अपशिष्ट और लैंडफिल से निकलने वाली गैसकृइन सभी की भौतिक एवं रासायनिक प्रकृति अलग होती है। इसीलिए एक ही तकनीक सभी प्रकार के अपशिष्ट पर लागू नहीं की जा सकती। फारूक, उमर और घीवाला (2021)ने विशेष रूप से इस बात पर बल दिया कि तकनीक का चयन अपशिष्ट के अंश, स्थानीय परिस्थितियों, पूंजी लागत, संचालन, श्रम–कौशल और पर्यावरणीय प्रदर्शन के आधार पर होना चाहिए।

परिपत्र अर्थव्यवस्था के ढाँचे में अपशिष्ट–से–ऊर्जा को सामान्यतः अंतिम विकल्प नहीं, बल्कि समुचित अनुक्रम में रखा जाता है। सर्वप्रथम अपशिष्ट की रोकथाम, पुनःप्रयोग और पुनर्चक्रण को प्राथमिकता दी जाती हैय उसके बाद वह अंश, जो पुनर्चक्रण योग्य नहीं है या जैविक रूप से ऊर्जा में बदला जा सकता है, उसे ऊर्जा–पुनर्प्राप्ति के लिए उपयोग किया जाता है। इस दृष्टिकोण से अपशिष्ट–से–ऊर्जा का उद्देश्य कचरे को 'सिर्फ जलाना' नहीं, बल्कि संसाधन दक्षता को अधिकतम करना होता है (रेजानिया आदि, 2023)।

एक महत्त्वपूर्ण वैचारिक अंतर यह भी है कि अपशिष्ट–से–ऊर्जा परियोजना तभी टिकाऊ कही जाएगी जब वह शुद्ध ऊर्जा लाभ के साथ पर्यावरणीय सुरक्षा बनाए रखे। यदि अपशिष्ट पृथक्करण कमजोर हो, नमी अधिक हो, उत्सर्जन नियंत्रण अपर्याप्त हो या जीवाश्म ईंधनों का पूरक उपयोग अत्यधिक हो, तो ऊर्जा–पुनर्प्राप्ति की वास्तविक उपयोगिता घट जाती है। अतः इस क्षेत्र में 'ऊर्जा उत्पादन' और 'सतत ऊर्जा उत्पादन' के बीच अंतर को समझना आवश्यक है (हसू आदि, 2024)।

4. अपशिष्ट के प्रकार और ऊर्जा–क्षमता

अपशिष्ट को उसकी उत्पत्ति, संरचना और रूपांतरण–क्षमता के आधार पर कई श्रेणियों में समझा जा सकता

है। पहली श्रेणी है जैविक या बायोडिग्रेडेबल अपशिष्ट, जिसमें रसोई का कचरा, फल–सब्जी अवशेष, खाद्य प्रसंस्करण उद्योग का अपशिष्ट, पशुधन से प्राप्त गोबर, मंडियों का जैविक कचरा और होटल–रेस्तराँ का भोजन–अवशेष शामिल हैं। इस प्रकार के अपशिष्ट में उच्च जैव–ऊर्जा क्षमता होती है और इसे एनेरोबिक डाइजेशन द्वारा बायोगैस में बदला जा सकता है। आईईए बायोएनर्जी (2018)के अनुसार एनेरोबिक डाइजेशन न केवल ऊर्जा उत्पादन का माध्यम है, बल्कि पोषक तत्वों के पुनर्प्राप्ति और परिपत्र कृषि के लिए भी महत्त्वपूर्ण है।

दूसरी श्रेणी सूखा ज्वलनशील अपशिष्ट है, जिसमें कागज, कपड़ा, लकड़ी, कुछ प्रकार के प्लास्टिक, पैकेजिंग सामग्री और उच्च ऊष्मीय मान वाले मिश्रित नगर ठोस अपशिष्ट शामिल हैं। यदि इसे उचित रूप से पृथक और तैयार किया जाए, तो इससे अपशिष्ट–व्युत्पन्न ईंधन, दहन–आधारित ताप और बिजली, अथवा गैसीकरण–पायरोलिसिस उत्पाद प्राप्त किए जा सकते हैं। होआंग एट अल. (2022) ने नगर ठोस अपशिष्ट को प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष ऊर्जा मार्गों में बाँटते हुए बताया कि दहन और ऊष्मीय तकनीकें तभी प्रभावी होती हैं जब फीडस्टॉक अपेक्षाकृत सूखा और ऊष्मीय रूप से उपयोगी हो।

तीसरी श्रेणी कृषि और बायोमास अवशेषों की है, जैसे धान का पुआल, गन्ने की खोई, गेहूँ का भूसा, मक्का अवशेष, बगास और अन्य लिग्नो–सेलुलोसिक पदार्थ। भारत जैसे कृषि–प्रधान देश में ये सामग्री प्रचुर मात्रा में उपलब्ध है। हालाँकि इनकी मौसमी उपलब्धता, संग्रहण और नमी प्रबंधन जैसी समस्याएँ हैं, फिर भी ये जैव–ऊर्जा, ब्रिकेट, पेलेट, गैसीफायर ईंधन और उन्नत जैव–ईंधनों के लिए अत्यंत उपयोगी हो सकते हैं।

चौथी श्रेणी औद्योगिक और अर्ध–औद्योगिक जैविक अपशिष्ट की है, जिसमें डिस्टिलरी, डेयरी, कागज उद्योग, चीनी मिल, वधशाला, खाद्य प्रसंस्करण और अपशिष्ट जल उपचार इकाइयों से निकलने वाले कार्बनिक अवशेष शामिल हैं। इन धाराओं में नियंत्रित जैव–रासायनिक ऊर्जा रूपांतरण की विशेष संभावना होती है। पाँचवीं श्रेणी लैंडफिल गैस और सीवेज–आधारित गैस की है, जो अपशिष्ट के प्राकृतिक या प्रबंधित जैव–अपघटन से उत्पन्न होती है। यदि इसे पकड़ा और शुद्ध किया जाए तो ऊर्जा स्रोत के रूप में उपयोग किया जा सकता है। इस प्रकार यह स्पष्ट है कि अपशिष्ट एक एकरूप इकाई नहीं, बल्कि ऊर्जा–सक्षम संसाधनों का विविध समूह है।

5. अपशिष्ट से ऊर्जा प्राप्त करने की प्रमुख वैज्ञानिक तकनीकें

(क) एनेरोबिक डाइजेशन और बायोगैसः यह प्रक्रिया ऑक्सीजन रहित वातावरण में सूक्ष्मजीवों द्वारा जैविक पदार्थों के विघटन पर आधारित होती है। इससे मुख्यतः मीथेन और कार्बन डाइऑक्साइड से युक्त बायोगैस बनती है, जिसे खाना पकाने, ताप उत्पादन, बिजली उत्पादन अथवा शोधन के बाद बायो–सीएनजी के रूप में उपयोग किया जा सकता है। इस प्रक्रिया का उपोत्पाद डाइजेस्टेट भी कृषि–उर्वरक के रूप में उपयोगी हो सकता है। ओबिलेके, मकाका और नवोकोलो (2023) ने एनेरोबिक डाइजेशन को ऊर्जा पुनर्प्राप्ति की सबसे परिपक्व तकनीकों में से एक माना है, विशेषकर वहाँ जहाँ जैविक अपशिष्ट की सतत उपलब्धता हो।

(ख) दहन आधारित तकनीकः मिश्रित या तैयार किए गए सूखे अपशिष्ट को उच्च ताप पर जलाकर भाप, ताप या बिजली उत्पन्न की जाती है। बड़े नगरों में नगरपालिका ठोस अपशिष्ट से ऊर्जा उत्पादन के लिए यह तकनीक दशकों से उपयोग में है। इसका एक बड़ा लाभ यह है कि इससे अपशिष्ट की आयतन और भार में भारी कमी आती है। किन्तु इसकी सफलता पूर्व–पृथक्करण, उचित कैलोरिफिक वैल्यू, उत्सर्जन नियंत्रण और

राख प्रबंधन पर निर्भर करती है। विश्व ऊर्जा परिषद ने भी दहन–आधारित अपशिष्ट–से–ऊर्जा को शहरी अपशिष्ट प्रबंधन का एक सशक्त विकल्प माना है, यद्यपि इसके साथ पर्यावरणीय अनुशासन अनिवार्य है (विश्व ऊर्जा परिषद, 2013)।

(ग) गैसीकरण और पायरोलिसिसः गैसीकरण में सीमित ऑक्सीजन की स्थिति में ऊष्मीय विघटन करके सिंथेटिक गैस प्राप्त की जाती है, जबकि पायरोलिसिस में ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में ठोस अपशिष्ट से गैस, तेल और चार जैसे उत्पाद बनते हैं। ये तकनीकें विशेष रूप से उन अपशिष्ट अंशों के लिए उपयोगी हैं जिनका ऊष्मीय मान अच्छा हो। अलाओ एट अल. (2022) और सू एट अल। (2024)ने संकेत किया है कि उन्नत ऊष्मीय तकनीकें भविष्य में अधिक दक्षता और कम उत्सर्जन वाले विकल्प दे सकती हैं, लेकिन पूंजी लागत, फीडस्टॉक गुणवत्ता और संचालन कौशल इनके लिए निर्णायक रहते हैं।

(घ) लैंडफिल गैस पुनर्प्राप्तिः लंबे समय तक जमा जैविक अपशिष्ट वाले नियंत्रित लैंडफिल स्थलों से मीथेन–समृद्ध गैस निकलती है। इसे पाइप नेटवर्क द्वारा संग्रहित कर ऊर्जा में बदला जा सकता है। यह तकनीक विशेष रूप से उन देशों और नगरों में महत्त्वपूर्ण है जहाँ लैंडफिल पहले से बड़े पैमाने पर मौजूद हैं।

(ङ) जैव–ईंधन और बायो–सीएनजीः कृषि अवशेष, कार्बनिक औद्योगिक अपशिष्ट और जैविक नगर कचरे से उच्च गुणवत्ता वाले ईंधन तैयार किए जा सकते हैं। एमएनआरई (2025) का कार्यक्रम इस क्षेत्र में बायोगैस, बायो–सीएनजी, शक्ति और उत्पादक गैस के संयंत्रों को प्रोत्साहन देता है, जो यह दर्शाता है कि नीति–स्तर पर भी अपशिष्ट को ऊर्जा–उत्पादक संसाधन के रूप में स्वीकार किया जा चुका है।

इन तकनीकों की तुलना करने पर स्पष्ट होता है कि कोई भी तकनीक स्वतः 'सर्वश्रेष्ठ' नहीं होती। जैविक अपशिष्ट के लिए जैव–रासायनिक मार्ग अधिक उपयुक्त है, जबकि सूखे एवं ऊष्मीय रूप से सक्षम अपशिष्ट के लिए थर्मो–केमिकल मार्ग उपयोगी होते हैं। इसलिए प्रौद्योगिकी चयन, फीडस्टॉक गुणवत्ता और संस्थागत ढाँचे का संतुलित संयोजन सफलता की कुंजी है (राम, कुमार और रानी, 2021)।

6. ऊर्जा संरक्षण में अपशिष्ट–आधारित ऊर्जा की भूमिका

ऊर्जा संरक्षण को अक्सर केवल उपकरणों की दक्षता, बिजली बचत या कम खपत के रूप में समझा जाता है। परंतु व्यापक अर्थ में ऊर्जा संरक्षण का आशय उपलब्ध संसाधनों से अधिकतम उपयोगी ऊर्जा प्राप्त करना, ऊर्जा श्रृंखला की हानियों को कम करना और नए स्रोतों की खोज करना भी है। इसी व्यापक अर्थ में अपशिष्ट–से–ऊर्जा ऊर्जा संरक्षण की रणनीति का हिस्सा बनती है। जब वही जैविक अपशिष्ट, जो अन्यथा खुला सड़कर मीथेन उत्सर्जित करता, एक नियंत्रित संयंत्र में जाकर ऊर्जा और जैव–उर्वरक में बदलता है, तब एक साथ कई लाभ प्राप्त होते हैं।

प्रथम, इससे जीवाश्म ईंधनों पर आंशिक निर्भरता कम होती है। ग्रामीण क्षेत्रों में गोबर या जैविक कचरे से तैयार बायोगैस एलपीजी, लकड़ी या कोयले के कुछ हिस्से का विकल्प बन सकती है। औद्योगिक क्षेत्रों में अपशिष्ट गैस या ऊष्मा पुनर्प्राप्ति सहायक ऊर्जा की आवश्यकता घटा सकती है। नगरों में ठोस अपशिष्ट के ऊर्जा रूपांतरण से बिजली या ताप उत्पादन संभव हो सकता है। दूसरे, इससे ऊर्जा प्रणाली में विकेंद्रीकरण आता है। स्थानीय अपशिष्ट से स्थानीय ऊर्जा उत्पन्न होने पर परिवहन, संग्रहण और बाहरी निर्भरता की कुछ

लागतें घटती हैं।

तृतीय, ऊर्जा संरक्षण का पर्यावरणीय आयाम भी इससे जुड़ता है। आईपीसीसी के विश्लेषण यह स्पष्ट करते हैं कि खुला अपघटन, खुला जलना और अव्यवस्थित अपशिष्ट निपटान ग्रीनहाउस गैसों एवं स्थानीय प्रदूषण के महत्त्वपूर्ण स्रोत हैं। यदि अपशिष्ट का वैज्ञानिक उपचार हो और ऊर्जा पुनर्प्राप्ति की जाए, तो कई मामलों में कुल उत्सर्जन भार कम किया जा सकता है, विशेषकर तब जब परियोजना लैंडफिल उत्सर्जन, खुले जलने और जीवाश्म ऊर्जा के प्रतिस्थापन को साथ लेकर चले (आईपीसीसी, 2007)।

चतुर्थ, यह संसाधन दक्षता की संस्कृति को मजबूत करता है। किसी भी समाज में ऊर्जा संरक्षण तब अधिक टिकाऊ बनता है जब उत्पादन–उपभोग–अपशिष्ट की शृंखला रैखिक न रहकर चक्रीय हो। रेजनिया एट अल. (2023) और झांग, बाई तथा रेन (2023)ने इस बात पर बल दिया है कि अपशिष्ट–से–ऊर्जा का वास्तविक मूल्य तब है जब इसे परिपत्र अर्थव्यवस्था, स्वच्छ प्रौद्योगिकी और बहु–क्षेत्रीय संसाधन नीति से जोड़ा जाए। अतः ऊर्जा संरक्षण को अपशिष्ट–आधारित ऊर्जा से अलग नहीं किया जा सकता।

7. पर्यावरणीय, सामाजिक और आर्थिक लाभ

अपशिष्ट–से–ऊर्जा प्रणालियों के पर्यावरणीय लाभ बहुस्तरीय हैं। नियंत्रित जैविक उपचार से खुले सड़न की तुलना में मीथेन उत्सर्जन पर बेहतर नियंत्रण संभव हैय दहन या थर्मो–केमिकल तकनीकों से लैंडफिल में जाने वाले अपशिष्ट की मात्रा कम होती हैय स्रोत–स्तरीय पृथक्करण को प्रोत्साहन मिलता हैय और कई मामलों में ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन में शुद्ध कमी प्राप्त की जा सकती है (ह्सू आदि,2024)। इसके अतिरिक्त कचरा ढेर, दुर्गंध, रोगवाहक जीव और भूमि दबाव में भी कमी आती है।

सामाजिक दृष्टि से यह क्षेत्र स्वच्छता, स्थानीय ऊर्जा उपलब्धता और शहरी प्रबंधन में योगदान दे सकता है। उदाहरण के लिए, होटल, छात्रावास, बड़े भोजनालय, डेयरी, मंडियाँ और आवासीय परिसरों में जैविक कचरे पर आधारित विकेंद्रीकृत बायोगैस इकाइयाँ न केवल कचरा कम कर सकती हैं, बल्कि स्वच्छ ईंधन भी उपलब्ध करा सकती हैं। ऐसे मॉडल सामुदायिक स्तर पर व्यवहार परिवर्तन और पृथक्करण की संस्कृति को भी बढ़ाते हैं।

आर्थिक लाभ भी उल्लेखनीय हैं, हालांकि वे परियोजना की प्रकृति और प्रबंधन पर निर्भर करते हैं। ऊर्जा उत्पादन से प्रत्यक्ष राजस्व, डाइजेस्टेट या उपोत्पाद की बिक्री, लैंडफिल लागत में कमी, परिवहन बचत, कार्बन–लाभ और स्थानीय रोजगार जैसे तत्व आर्थिक व्यवहार्यता को प्रभावित करते हैं। वरजानी आदि (2022) ने संकेत किया है कि अपशिष्ट–से–ऊर्जा प्रौद्योगिकियाँ केवल निपटान खर्च कम नहीं करतीं, बल्कि अपशिष्ट को बायोरिफाइनरी सोच के साथ मूल्यवर्धित उत्पादों में बदल सकती हैं।

इसके अतिरिक्त, यह क्षेत्र तकनीकी नवाचार और कौशल विकास को भी बढ़ावा देता है। अपशिष्ट गुण–विश्लेषण, जैव–रिएक्टर डिजाइन, गैस शोधन, उत्सर्जन नियंत्रण, डेटा–आधारित संचालन और समेकित नगर नियोजन जैसे उपक्षेत्रों में नए अवसर पैदा होते हैं। इस प्रकार अपशिष्ट–आधारित ऊर्जा केवल पर्यावरणीय उपाय नहीं, बल्कि हरित अर्थव्यवस्था की दिशा में कदम है।

8. भारतीय परिप्रेक्ष्यः संभावनाएँ, नीतियाँ और चुनौतियाँ

भारत में अपशिष्ट–से–ऊर्जा की संभावनाएँ अत्यंत व्यापक हैं क्योंकि यहाँ अपशिष्ट धाराएँ बहुविध और विशाल हैं। नगर ठोस अपशिष्ट, सीवेज स्लज, कृषि–अवशेष, डेयरी एवं पशुधन अपशिष्ट, चीनी मिल और खाद्य उद्योगों के कार्बनिक अवशेष, तथा संस्थागत जैविक कचराकृसभी ऊर्जा में बदले जा सकने वाले संभावित संसाधन हैं। इसके बावजूद इनकी वास्तविक उपयोगिता स्थान, मौसम, पृथक्करण और प्रबंधन क्षमता पर निर्भर करती है।

नीतिगत स्तर पर भारत सरकार ने अपशिष्ट–आधारित ऊर्जा को नवीकरणीय ऊर्जा के विस्तृत ढाँचे में शामिल किया है। नवीन एवं नवीकरणीय ऊर्जा मंत्रालय का ैजम जव म्दमतहल च्तवहतंउउम शहरी, औद्योगिक और कृषि अपशिष्टोंध्अवशेषों से बायोगैस, बायो–सीएनजी, ऊर्जा और सिंथेटिक गैस उत्पादन को समर्थन देता है, और यह कार्यक्रम 2021–22 से 2025–26 की अवधि के लिए संरचित है (एमएनआरई, 2025)। इसके अतिरिक्त ठोस अपशिष्ट प्रबंधन नियम, स्वच्छ भारत मिशन, गोबर–धन जैसे कार्यक्रम और विभिन्न राज्य–स्तरीय योजनाएँ स्थानीय स्तर पर पूरक भूमिका निभाती हैं।

फिर भी भारत में अपशिष्ट–से–ऊर्जा परियोजनाओं के समक्ष कई संरचनात्मक चुनौतियाँ हैं। पहली चुनौती है स्रोत–स्तरीय पृथक्करण की कमजोरी। जैविक, पुनर्चक्रण योग्य और ज्वलनशील अंश जब मिश्रित रहते हैं, तब जैव–रासायनिक और थर्मल दोनों प्रकार की तकनीकों की दक्षता प्रभावित होती है। दूसरी चुनौती है उच्च नमी और कम कैलोरिफिक वैल्यू वाला मिश्रित नगर ठोस अपशिष्ट, जो सीधे दहन–आधारित संयंत्रों की कार्यक्षमता घटा सकता है। तीसरी चुनौती है भूमि, वित्त, दीर्घकालिक संचालन, शुल्क संरचना और जन–स्वीकार्यता।

चौथी चुनौती उत्सर्जन नियंत्रण और निगरानी की है। यदि दहन या थर्मल परियोजनाओं में उपयुक्त फिल्टर, फ्ल्यू–गैस उपचार और राख निपटान न हो, तो पर्यावरणीय विरोध बढ़ सकता है। पाँचवीं चुनौती संस्थागत समन्वय की हैकृनगर निकाय, राज्य एजेंसियाँ, विद्युत नियामक, निजी डेवलपर, प्रदूषण नियंत्रण संस्थाएँ और नागरिक समुदायकृसभी के बीच स्पष्ट भूमिकाएँ आवश्यक हैं। सीपीसीबी के वार्षिक प्रतिवेदन संकेत करते हैं कि अपशिष्ट प्रबंधन के क्षेत्र में संग्रहण, प्रसंस्करण और वैज्ञानिक निपटान के बीच अभी भी कई अंतराल मौजूद हैं (सीपीसीबी, 2022)।

भारतीय संदर्भ में सबसे उपयुक्त रणनीति एकरूप नहीं हो सकती। महानगरों में मिश्रित अपशिष्ट के लिए स्रोत–पृथक्करण और चुनींदा ऊर्जा–तकनीकों का संयोजन आवश्यक हो सकता हैय वहीं कस्बों, डेयरी–क्लस्टरों, शिक्षण परिसरों, होटल समूहों और ग्रामीण समुदायों में विकेंद्रीकृत बायोगैस या बायो–सीएनजी मॉडल अधिक व्यवहारिक हो सकते हैं। अतः भारत में सफलता का मार्ग 'एक तकनीक सबके लिए' नहीं, बल्कि स्थानीय संसाधनों पर आधारित बहु–मॉडल दृष्टिकोण है।

9. सीमाएँ, सावधानियाँ और नीति–सुझाव

अपशिष्ट–से–ऊर्जा को लेकर अति–आशावाद और अति–संदेहकृदोनों से बचना चाहिए। यह न तो हर प्रकार के कचरे का स्वतः समाधान है, न ही इसे बिना विश्लेषण के अस्वीकार किया जाना चाहिए। सबसे पहले यह स्वीकार करना होगा कि अपशिष्ट शृंखला में प्राथमिकता अपशिष्ट रोकथाम, पुनःप्रयोग और पुनर्चक्रण को मिलनी चाहिए। केवल वह अंश, जो जैव–ऊर्जा या ऊर्जा–पुनर्प्राप्ति के लिए उपयुक्त है, उसे ही इस प्रणाली में शामिल किया जाना चाहिए।

दूसरा, परियोजनाओं के लिए फीडस्टॉक आश्वासन अत्यंत आवश्यक है। कई संयंत्र इसलिए विफल होते हैं क्योंकि उनकी डिजाइन क्षमता के अनुरूप गुणवत्ता और मात्रा का अपशिष्ट निरंतर उपलब्ध नहीं रहता। तीसरा, सामाजिक स्वीकृति, पारदर्शिता और स्थानीय संवाद जरूरी है। यदि समुदाय को केवल संयंत्र का अंतिम रूप दिखाई देता है, पर पृथक्करण, उत्सर्जन नियंत्रण और लाभ–साझेदारी की जानकारी नहीं होती, तो विरोध स्वाभाविक है।

नीति–सुझाव के रूप में निम्न बिंदु महत्त्वपूर्ण हैं:

(1) स्रोत–स्तरीय पृथक्करण को कड़ाई और प्रोत्साहन दोनों के साथ लागू किया जाए।

(2) जैविक अपशिष्ट के लिए विकेंद्रीकृत बायोगैसध्बायो–सीएनजी इकाइयों को प्राथमिकता दी जाए।

(3) नगर ठोस अपशिष्ट परियोजनाओं के लिए पूर्व–फीडस्टॉक चरित्रांकन अनिवार्य हो।

(4) उत्सर्जन और अवशेष प्रबंधन के लिए स्वतंत्र निगरानी तंत्र हो।

(5) स्थानीय निकायों, निजी क्षेत्र और वैज्ञानिक संस्थानों के बीच साझेदारी बढ़ाई जाए।

(6) परियोजना मूल्यांकन में केवल ऊर्जा उत्पादन नहीं, बल्कि लैंडफिल बचत, उत्सर्जन नियंत्रण और सामाजिक लाभ भी शामिल किए जाएँ तथा

(7) शोध और क्षमता–विकास के लिए विश्वविद्यालयों, तकनीकी संस्थानों और नगर प्रशासन के बीच सक्रिय नेटवर्क बनाए जाएँ।

इन सावधानियों के साथ अपशिष्ट–से–ऊर्जा क्षेत्र भारत की ऊर्जा सुरक्षा, स्वच्छता और हरित विकास का महत्त्वपूर्ण स्तंभ बन सकता है।

10. निष्कर्ष

समग्रतः यह अध्ययन स्पष्ट करता है कि अपशिष्ट–से–ऊर्जा आधुनिक ऊर्जा एवं पर्यावरणीय संकटों के बीच एक महत्त्वपूर्ण सेतु का कार्य करती है। बढ़ते अपशिष्ट को यदि वैज्ञानिक ढंग से समझा और वर्गीकृत किया जाए, तो वही समस्या ऊर्जा, पोषक तत्व, उर्वरक, स्वच्छ ईंधन और स्थानीय विकास के अवसर में बदली जा सकती है। बायोगैस, बायो–सीएनजी, दहन, गैसीकरण, पायरोलिसिस और लैंडफिल गैस पुनर्प्राप्ति जैसी तकनीकें अलग–अलग परिस्थितियों में उपयोगी सिद्ध हो सकती हैं, बशर्ते उनका चयन अपशिष्ट की प्रकृति और स्थानीय आवश्यकताओं के अनुसार किया जाए। ऊर्जा संरक्षण की दृष्टि से इसका महत्व विशेष है क्योंकि यह संसाधन दक्षता को बढ़ाता है, जीवाश्म ईंधनों पर निर्भरता कम करता है, कचरा प्रबंधन को बेहतर बनाता है और कई स्थितियों में ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन भी घटा सकता है। फिर भी अपशिष्ट–से–ऊर्जा को चमत्कारिक समाधान की तरह नहीं, बल्कि व्यापक अपशिष्ट पदानुक्रम, पुनर्चक्रण, पृथक्करण और पर्यावरणीय शासन के भीतर समझना चाहिए। भारत में इसकी संभावनाएँ अपार हैं, लेकिन सफलता की शर्तें स्पष्ट हैंकृ गुणवत्तापूर्ण पृथक्करण, वैज्ञानिक योजना, वित्तीय स्थिरता, सामाजिक स्वीकृति, तकनीकी दक्षता और प्रदूषण नियंत्रण। इसलिए भविष्य की दिशा यह होनी चाहिए कि अपशिष्ट को बोझ नहीं, संसाधन माना जाएय ऊर्जा

संरक्षण को केवल बचत नहीं, बल्कि संसाधनों के पुनरुपयोग से जोड़ा जाएय और स्थानीय आवश्यकताओं के अनुसार विकेंद्रीकृत तथा केंद्रीकृत दोनों प्रकार के मॉडल विकसित किए जाएँ। इसी दृष्टिकोण में अपशिष्ट–आधारित ऊर्जा, ऊर्जा सुरक्षा और सतत विकास का समन्वित उत्तर निहित है।

संदर्भ सूची

काजा, एस., याओ, एल., भादा–टाटा, पी., और वैन वोर्डन, एफ. (2018). क्या बर्बादी है 2.0: 2050 तक ठोस अपशिष्ट प्रबंधन का एक वैश्विक स्नैपशॉट। Washington, DC: World Bank.

केंद्रीय प्रदूषण नियंत्रण बोर्ड (2022). वर्ष 2021–22 के लिए ठोस अपशिष्ट प्रबंधन नियम, 2016 के कार्यान्वयन पर वार्षिक रिपोर्ट। नई दिल्ली: सीपीसीबी।

विश्व ऊर्जा परिषद। (2013)। अपशिष्ट से ऊर्जा। लंदन: वर्ल्ड एनर्जी काउंसिल.

होआंग, ए. टी., वरबानोव, पी. एस., निजेटिक, एस., सिरोही, आर., पांडे, ए., लुके, आर., एनजी, के. एच., और फाम, वी. वी. (2022). नगरपालिका ठोस अपशिष्ट–से–ऊर्जा मार्ग पर परिप्रेक्ष्य समीक्षा: विशेषताएँ, प्रबंधन रणनीति और चक्रीय अर्थव्यवस्था में भूमिका। जर्नल ऑफ क्लीनर प्रोडक्शन, 359, 131897. https%//doi-org/10-1016/j-jclepro-2022-131897

हसू, एच.–डब्ल्यू., बिन्येट, ई., नुगरोहो, आर. ए. ए., वांग, डब्ल्यू.–सी., श्रीनोफाकुन, पी., चेन, आर.–वाई., एट अल. (2024). अपशिष्ट–से–ऊर्जा की स्थिरता की ओर: एक अवलोकन। ऊर्जा रूपांतरण और प्रबंधन, 321, 119063. https%//doi-org/10-1016/j-enconman-2024-119063

राम, सी., कुमार, ए., और रानी, पी. (2021). नगरपालिका ठोस अपशिष्ट प्रबंधन: अपशिष्ट से ऊर्जा (WtE) दृष्टिकोणों की एक समीक्षा। जैव संसाधनों, 16(2), 4275–4320.

रेजनिया, एस., ओरयानी, बी., नसरोल्लाही, वी.आर., दाराजेह, एन., गहरौद, एम.एल., और मेहरानजमीर, के. (2023). विकसित और विकासशील देशों में चक्रीय अर्थव्यवस्था की ओर अपशिष्ट से ऊर्जा दृष्टिकोणों पर समीक्षा। प्रक्रियाएँ, 11(9), 2566.

संयुक्त राष्ट्र पर्यावरण कार्यक्रम और अंतर्राष्ट्रीय ठोस अपशिष्ट एसोसिएशन। (2024)। ग्लोबल वेस्ट मैनेजमेंट आउटलुक 2024: कचरे के युग से आगे। नैरोबी: UNEP

वरजानी, एस., शाहबेग, एच., पोपट, के., पटेल, जेड., व्यास, एस., शाह, ए.वी., बार्सेलो, डी., न्गो, एच.एच., सोने, सी., लैम, एस.एस., अघबाशलो, एम., और तबाताबेई, एम. (2022). अपशिष्ट–से–ऊर्जा तकनीकों के माध्यम से नगरपालिका ठोस अपशिष्ट का सतत प्रबंधन। बायोरिसोर्स टेक्नोलॉजी, 355, 127247. https%//doi-org/10-1016/j-biortech-2022-127247

वर्ल्ड बैंक. (2024)। क्या बर्बादी है 3.0. वाशिंगटन, डी.सी.: विश्व बैंक।

फारूक, ए., उमर, एम., और घीवाला, एस. एच. (2021). सतत नगरपालिका ठोस अपशिष्ट प्रबंधन प्रणाली के

लिए उपयुक्त अपशिष्ट–से–ऊर्जा प्रौद्योगिकियों के चयन हेतु एक ढांचा। फ्रंटियर्स इन सस्टेनेबिलिटी, 2, 681690.

जलवायु परिवर्तन पर अंतर–सरकारी पैनल। (2007)। अपशिष्ट प्रबंधन। बी. मेट्ज, ओ. डेविडसन, पी. बॉश, आर. डेव और एल. मेयर (सं.), जलवायु परिवर्तन 2007: जलवायु परिवर्तन का शमन। कैम्ब्रिज यूनिवर्सिटी प्रेस.

नवीन और नवीकरणीय ऊर्जा मंत्रालय। (2025)। अपशिष्ट से ऊर्जा कार्यक्रम। भारत सरकार।

आईईए बायोएनर्जी. (2018). चक्रीय अर्थव्यवस्था में अवायवीय पाचन और बायोगैस की भूमिका. अंतर्राष्ट्रीय ऊर्जा एजेंसी बायोएनर्जी टीसीपी.

ओबिलेके, के., मकाका, जी., और नवोकोलो, एन. (2023). अवायवीय पाचन और गैसीकरण प्रौद्योगिकी में हालिया प्रगति। एप्लाइड साइंसेज, 13(9), 5597. https://doi.org/10.3390/app13095597

अलाओ, एम. ए., पोपोला, ओ. एम., और आयोडेले, टी. आर. (2022). अपशिष्ट–से–ऊर्जा संबंध: सतत विकास के लिए प्रौद्योगिकियों और कार्यान्वयन का अवलोकन। स्वच्छ ऊर्जा प्रणाली, 3, 100034. https%//doi-org/10-1016/j-cles-2022-100034