INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPLORING EMERGING TRENDS IN ENGINEERING
Peer-Reviewed, Refereed, Indexed and International Journal, https://ijoeete.com/
(Peer Review Journal as per UGC 2025 Standard Guidelines)
|ISSN No. 2394-0573 |Volume: 12, Issue: 4 | October – December 2025

वैज्ञानिक तकनीकों द्वारा अपशिष्ट ऊर्जा के उपयोग और उसके पर्यावरणीय प्रभाव का विश्लेषण

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

सार

वर्तमान समय में ऊर्जा की बढ़ती मांग, पारंपरिक ईंधनों पर निर्भरता, तथा ठोस और जैविक अपशिष्ट की तीव्र वृद्धि ने अपशिष्ट–से–ऊर्जा प्रणाली को वैश्विक विमर्श का प्रमुख विषय बना दिया है। प्रस्तुत शोध–पत्र अपशिष्ट ऊर्जा के उपयोग से संबंधित प्रमुख वैज्ञानिक तकनीकों जैविक अपघटन, दहन, गैसीकरण, पायरोलिसिस, तथा जैव–ईंधन उत्पादन का समीक्षात्मक विश्लेषण प्रस्तुत करता है। साहित्य से यह स्पष्ट होता है कि अपशिष्ट ऊर्जा केवल कचरा निस्तारण का साधन नहीं है, बल्कि संसाधन दक्षता, ऊर्जा विविधीकरण, तथा ग्रीनहाउस गैसों में कमी की दिशा में एक महत्वपूर्ण रणनीति भी है। अध्ययन में यह भी रेखांकित किया गया है कि तकनीकी दक्षता, अपशिष्ट पृथक्करण, प्रदूषण नियंत्रण तथा संस्थागत प्रबंधन के बिना यह मॉडल अपेक्षित परिणाम नहीं दे सकता। समीक्षा के आधार पर निष्कर्ष निकाला गया है कि वैज्ञानिक रूप से नियोजित अपशिष्ट ऊर्जा प्रणाली ऊर्जा संरक्षण, स्वच्छता, कार्बन प्रबंधन और परिपत्र अर्थव्यवस्था के उद्देश्यों को एक साथ आगे बढ़ा सकती है, बशर्ते तकनीक का चयन स्थानीय अपशिष्ट संरचना, वित्तीय क्षमता और पर्यावरणीय मानकों के अनुरूप किया जाए।

मुख्य शब्द: अपशिष्ट ऊर्जा, ऊर्जा संरक्षण, बायोगैस, गैसीकरण, पायरोलिसिस, दहन, पर्यावरणीय प्रभाव, सतत विकास, परिपत्र अर्थव्यवस्था

1. प्रस्तावना

ऊर्जा आधुनिक समाज की आर्थिक, औद्योगिक और सामाजिक संरचना का आधार है। उद्योग, परिवहन, घरेलू उपयोग, कृषि, सूचना प्रौद्योगिकी और शहरी अवसंरचना सभी ऊर्जा पर निर्भर हैं। परंतु विश्व के अनेक देशों में ऊर्जा मांग की वृद्धि और जीवाश्म ईंधनों की सीमितता ने वैकल्पिक ऊर्जा स्रोतों की खोज को तेज किया है। इसी परिप्रेक्ष्य में अपशिष्ट–से–ऊर्जा की अवधारणा विशेष महत्व प्राप्त करती है। यह दृष्टिकोण इस विचार पर आधारित है कि वह पदार्थ जिसे समाज 'कचरा' समझता है, वास्तव में ऊर्जा और सामग्री पुनर्प्राप्ति का संभावित स्रोत हो सकता है (विल्सन, 2007; लोम्बार्डी एट अल., 2015)।

नगरपालिका ठोस अपशिष्ट, कृषि अवशेष, पशु अपशिष्ट, खाद्य अपशिष्ट, सीवेज स्लज तथा औद्योगिक अवशेष सभी विभिन्न तकनीकों के माध्यम से ऊष्मा, बिजली, गैस या तरल ईंधन में बदले जा सकते हैं। विकसित देशों में अपशिष्ट ऊर्जा संयंत्रों ने लैंडफिल पर निर्भरता घटाने, संसाधनों के पुनः उपयोग को बढ़ाने और ऊर्जा मिश्रण में विविधता लाने में भूमिका निभाई है। वहीं विकासशील देशों के लिए यह मॉडल इसलिए अधिक महत्वपूर्ण है क्योंकि यहाँ एक साथ दो चुनौतियाँ उपस्थित हैं – ऊर्जा की कमी और अपशिष्ट प्रबंधन का दबाव (कुमार और समद्दर, 2017; डोंग एट अल., 2016)।

INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPLORING EMERGING TRENDS IN ENGINEERING
Peer-Reviewed, Refereed, Indexed and International Journal, https://ijoeete.com/
(Peer Review Journal as per UGC 2025 Standard Guidelines)
|ISSN No. 2394-0573 |Volume: 12, Issue: 4 | October – December 2025

हालाँकि अपशिष्ट ऊर्जा का विचार केवल तकनीकी प्रश्न नहीं है; यह सार्वजनिक स्वास्थ्य, पर्यावरणीय न्याय, शासन, शहरी नियोजन और आर्थिक व्यवहार्यता से भी गहराई से जुड़ा है। यदि मिश्रित कचरे को बिना पृथक्करण के जलाया जाए, तो वायु प्रदूषण का खतरा बढ़ सकता है; यदि जैविक अपशिष्ट का वैज्ञानिक प्रबंधन किया जाए, तो वही संसाधन मीथेन और जैविक उर्वरक का स्रोत बन सकता है (एपेल्स एट अल., 2008; वेइलैंड, 2010)। इसलिए इस विषय का अध्ययन एक समग्र दृष्टिकोण से किया जाना आवश्यक है। प्रस्तुत शोध–पत्र इसी समग्रता के साथ अपशिष्ट ऊर्जा की वैज्ञानिक तकनीकों और उनके पर्यावरणीय प्रभावों का समीक्षा–आधारित विश्लेषण प्रस्तुत करता है.।

2. अध्ययन की प्रकृति, उद्देश्य और समीक्षा पद्धति

यह शोध–पत्र प्रकृति से समीक्षात्मक है। इसमें प्राथमिक सर्वेक्षण के बजाय प्रकाशित पुस्तकों, शोध लेखों, तकनीकी समीक्षाओं तथा नीति–आधारित दस्तावेजों से विचारात्मक सामग्री लेकर विश्लेषण किया गया है। समीक्षा का मुख्य उद्देश्य उन तकनीकी विकल्पों को सरल एवं सुव्यवस्थित ढंग से समझना है जिनके माध्यम से अपशिष्ट को ऊर्जा में बदला जाता है, और यह देखना है कि इन तकनीकों का पर्यावरण पर समग्र प्रभाव किस प्रकार पड़ता है।

अध्ययन के उद्देश्य चार स्तरों पर केंद्रित हैं। पहला, अपशिष्ट–से–ऊर्जा की वैज्ञानिक अवधारणा को स्पष्ट करना। दूसरा, प्रमुख तकनीकों एनेरोबिक डाइजेशन, दहन, गैसीकरण, पायरोलिसिस और जैव–ईंधन की कार्यप्रणाली तथा उपयोगिता का तुलनात्मक विवेचन करना। तीसरा, उन सकारात्मक पर्यावरणीय प्रभावों को रेखांकित करना जो लैंडफिल में कमी, ग्रीनहाउस गैस नियंत्रण, ऊर्जा पुनर्प्राप्ति और संसाधन दक्षता से जुड़े हैं। चौथा, संभावित नकारात्मक प्रभावों और संस्थागत सीमाओं का समालोचनात्मक परीक्षण करना (एरिना, 2012; स्कार्लेट एट अल., 2018)।

समीक्षा पद्धति के अंतर्गत ऐसे स्रोतों को प्राथमिकता दी गई है जो अपशिष्ट प्रबंधन, ऊर्जा पुनर्प्राप्ति, जैव–ऊर्जा, थर्मोकेमिकल तकनीकों और जीवन–चक्र मूल्यांकन से संबंधित हैं। स्रोतों का चयन इस आधार पर किया गया कि वे तकनीकी प्रक्रियाओं, कार्यकुशलता, पर्यावरणीय परिणामों, नीति–प्रासंगिकता और व्यवहारिक अनुप्रयोग पर पर्याप्त प्रकाश डालते हों। इस प्रकार यह शोध–पत्र विषय के व्यापक और सन्तुलित समझ के लिए साहित्य–संश्लेषण की विधि अपनाता है.

3. अपशिष्ट–से–ऊर्जा की अवधारणा और वैचारिक आधार

अपशिष्ट–से–ऊर्जा का मूल अर्थ उन प्रक्रियाओं से है जिनमें अपशिष्ट पदार्थों से उपयोगी ऊर्जा प्राप्त की जाती है। यह ऊर्जा ऊष्मा, बिजली, बायोगैस, सिंथेटिक गैस, जैव–तेल या तरल ईंधन के रूप में हो सकती है। इस अवधारणा का वैचारिक आधार परिपत्र अर्थव्यवस्था, संसाधन दक्षता, और सतत विकास के सिद्धांतों से जुड़ा है। पारंपरिक रैखिक अर्थव्यवस्था में संसाधनों का उपयोग, उपभोग और त्याग की प्रवृत्ति प्रमुख रहती है; जबकि परिपत्र दृष्टिकोण में अपशिष्ट को प्रणाली के भीतर पुनः उपयोग या ऊर्जा पुनर्प्राप्ति के माध्यम से मूल्यवान बनाया जाता है (विल्सन, 2007; कोठारी आदि, 2010)।

वैचारिक रूप से अपशिष्ट–से–ऊर्जा को केवल ऊर्जा उत्पादन के माध्यम के रूप में नहीं देखना चाहिए। यह एक बहुआयामी ढांचा है जो कचरा संग्रहण, पृथक्करण, प्रसंस्करण, परिवहन, उपचार, प्रदूषण नियंत्रण

INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPLORING EMERGING TRENDS IN ENGINEERING
Peer-Reviewed, Refereed, Indexed and International Journal, https://ijoeete.com/
(Peer Review Journal as per UGC 2025 Standard Guidelines)
|ISSN No. 2394-0573 |Volume: 12, Issue: 4 | October – December 2025

और अवशिष्ट प्रबंधन के पूरे तंत्र को सम्मिलित करता है। उदाहरण के लिए, जैविक और अजैविक अपशिष्ट के पृथक्करण के बिना बायोगैस संयंत्रों की दक्षता घट जाती है और थर्मल तकनीकों में दहन की गुणवत्ता प्रभावित होती है। इस कारण प्रणालीगत समन्वय इसकी मूल शर्त है (कुमार और समाद्दर, 2017)।

यह अवधारणा ऊर्जा संरक्षण से भी सीधे जुड़ती है। जब समाज अपशिष्ट से ऊर्जा प्राप्त करता है, तब जीवाश्म ईंधनों की मांग में कमी आती है, साथ ही कचरे के निस्तारण पर लगने वाला अतिरिक्त भार भी घटता है। इस प्रकार यह मॉडल ऊर्जा सुरक्षा और पर्यावरणीय प्रबंधन के बीच एक सेतु का कार्य करता है।

4. अपशिष्ट ऊर्जा की प्रमुख वैज्ञानिक तकनीकें

अपशिष्ट–से–ऊर्जा प्रणालियाँ इतवंकसल दो श्रेणियों में रखी जाती हैं –

जैव–रासायनिक तकनीकें और ताप–रासायनिक तकनीकें। जैव–रासायनिक विधियों में सूक्ष्मजीव अपशिष्ट को तोड़ते हैं, जबकि ताप–रासायनिक विधियों में ऊष्मा की सहायता से ऊर्जा–समृद्ध उत्पाद प्राप्त होते हैं। दोनों प्रकार की तकनीकें अपशिष्ट की भौतिक और रासायनिक संरचना के अनुसार भिन्न–भिन्न परिस्थितियों में उपयोगी होती हैं (अरेना, 2012; माल्को, 2004)।

जैव–रासायनिक तकनीकों में सबसे अधिक प्रचलित एनेरोबिक डाइजेशन है, जो भोजन अवशेष, गोबर, सीवेज स्लज और अन्य नमीयुक्त जैविक अपशिष्टों के लिए उपयुक्त है। इसके विपरीत, उच्च कैलोरिफिक वैल्यू वाले और तुलनात्मक रूप से सूखे अपशिष्ट, जैसे त्क्थ, प्लास्टिक–मिश्रित ठोस अपशिष्ट या कुछ औद्योगिक अवशेष, दहन, गैसीकरण या पायरोलिसिस जैसी तकनीकों के लिए अधिक अनुकूल माने जाते हैं (एपेल्स एट अल., 2008; एरिना, 2012)।

तकनीकी चयन के समय केवल ऊर्जा उत्पादन को ही नहीं, बल्कि नमी प्रतिशत, कार्बनिक पदार्थ की मात्रा, फीडस्टॉक की स्थिरता, पूंजीगत लागत, प्रदूषण नियंत्रण की आवश्यकता, अवशिष्ट निपटान, और संचालन–कौशल को भी ध्यान में रखना पड़ता है। इसलिए किसी एक तकनीक को सार्वभौमिक समाधान नहीं माना जा सकताय स्थानीय परिस्थितियों के अनुसार मिश्रित या एकीकृत मॉडल अधिक सफल हो सकते हैं (लोम्बार्डी आदि, 2015)।

4.1 एनेरोबिक डाइजेशन और बायोगैस

एनेरोबिक डाइजेशन वह प्रक्रिया है जिसमें जैविक अपशिष्ट को ऑक्सीजन–रहित वातावरण में सूक्ष्मजीवों द्वारा विघटित किया जाता है और परिणामस्वरूप बायोगैस तथा डाइजेस्टेट प्राप्त होते हैं। बायोगैस मुख्यतः मीथेन और कार्बन डाइऑक्साइड से मिलकर बनती है तथा इसे खाना पकाने, बिजली उत्पादन, ऊष्मा अथवा अपग्रेड करके बायोमीथेन के रूप में उपयोग किया जा सकता है। यह तकनीक विशेष रूप से उन अपशिष्टों के लिए उपयुक्त है जिनमें नमी अधिक हो और जैविक सामग्री आसानी से विघटित हो सके, जैसे भोजन अपशिष्ट, पशु गोबर, कृषि जैविक अवशेष और सीवेज स्लज (एपेल्स एट अल., 2008; वेइलैंड, 2010)।

समीक्षा साहित्य में एनेरोबिक डाइजेशन को अपेक्षाकृत पर्यावरण–अनुकूल तकनीक माना गया है, क्योंकि यह अनियंत्रित मीथेन उत्सर्जन को रोक सकता है। यदि जैविक अपशिष्ट खुले में सड़ता है, तो उससे निकलने वाली मीथेन एक शक्तिशाली ग्रीनहाउस गैस के रूप में वातावरण को प्रभावित करती है। बायोगैस संयंत्र इस

INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPLORING EMERGING TRENDS IN ENGINEERING
Peer-Reviewed, Refereed, Indexed and International Journal, https://ijoeete.com/
(Peer Review Journal as per UGC 2025 Standard Guidelines)
|ISSN No. 2394-0573 |Volume: 12, Issue: 4 | October – December 2025

गैस को संग्रहित करके ऊर्जा में बदल देते हैं, जिससे दोहरा लाभ प्राप्त होता हैकृऊर्जा उत्पादन और उत्सर्जन नियंत्रण (स्कार्लेट आदि, 2018)।

फिर भी इसकी सफलता फीडस्टॉक की गुणवत्ता, तापमान नियंत्रण, चभ, हाइड्रोलिक रिटेंशन टाइम और संचालन–प्रबंधन पर निर्भर करती है। मिश्रित कचरे, प्लास्टिक अशुद्धियों, तथा अव्यवस्थित संग्रहण के कारण संयंत्र की कार्यक्षमता घट सकती है। इसलिए यह तकनीक वैज्ञानिक अनुशासन और सतत निगरानी की मांग करती है।

4.2 दहन आधारित ऊर्जा पुनर्प्राप्ति

दहन या इंसिनरेशन में अपशिष्ट को नियंत्रित तापमान पर जलाकर ऊष्मा उत्पन्न की जाती है, जिसे भाप और बिजली उत्पादन में परिवर्तित किया जाता है। यह तकनीक नगरपालिका ठोस अपशिष्ट के बड़े पैमाने पर निपटान और आयतन में कमी के लिए उपयोगी मानी जाती है। अनेक अध्ययनों में पाया गया है कि दहन के माध्यम से अपशिष्ट का आयतन काफी घट जाता है और लैंडफिल की आवश्यकता कम होती है (लोम्बार्डी एट अल., 2015; डोंग एट अल., 2016)।

इस तकनीक का प्रमुख लाभ यह है कि यह मिश्रित और उच्च–कैलोरिफिक मूल्य वाले अपशिष्टों से निरंतर ऊर्जा पुनर्प्राप्ति कर सकती है। महानगरों में जहाँ कचरे की मात्रा बहुत अधिक होती है, वहाँ दहन–आधारित संयंत्र नगर निकायों को कचरे के शीघ्र निस्तारण का विकल्प प्रदान करते हैं। साथ ही आधुनिक फ्ल्यू–गैस ट्रीटमेंट सिस्टम के प्रयोग से कुछ उत्सर्जनों को नियंत्रित किया जा सकता है (अरीना, 2012)।

परंतु दहन तकनीक पर सबसे अधिक आलोचना वायु प्रदूषण, डाइऑक्सिन, फ्यूरान, भारी धातुओं और राख प्रबंधन को लेकर होती है। यदि उत्सर्जन नियंत्रण उपकरण पर्याप्त न हों, तो यह प्रणाली पर्यावरण और सार्वजनिक स्वास्थ्य के लिए गंभीर जोखिम पैदा कर सकती है। इसलिए दहन को केवल वहीं उपयुक्त माना जाना चाहिए जहाँ अपशिष्ट पूर्व–प्रसंस्कृत हो, नमी नियंत्रित हो और कठोर पर्यावरणीय निगरानी उपलब्ध हो (एस्ट्रप आदि, 2009)।

4.3 गैसीकरण और पायरोलिसिस

गैसीकरण और पायरोलिसिस को उन्नत ताप–रासायनिक तकनीकों के रूप में देखा जाता है। गैसीकरण में सीमित ऑक्सीजन या भाप की उपस्थिति में अपशिष्ट को उच्च तापमान पर तोड़कर सिंथेटिक गैस प्राप्त की जाती है, जबकि पायरोलिसिस में ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में अपशिष्ट के विघटन से गैस, जैव–तेल और चार बनते हैं। इन तकनीकों का आकर्षण इस बात में है कि वे पारंपरिक दहन की तुलना में उत्पादों की विविधता और ऊर्जा पुनर्प्राप्ति की संभावनाएँ बढ़ाती हैं (माल्को, 2004; अरेना, 2012)।

प्लास्टिक–समृद्ध मिश्रण, सूखे जैविक अवशेष तथा त्क्थ् जैसे ईंधन इन प्रक्रियाओं के लिए उपयुक्त हो सकते हैं। यदि सिंथेटिक गैस को पर्याप्त रूप से स्वच्छ किया जाए, तो उसका उपयोग इंजनों, टर्बाइनों या रासायनिक संश्लेषण में किया जा सकता है। पायरोलिसिस से प्राप्त तेल कुछ परिस्थितियों में वैकल्पिक ईंधन के रूप में प्रयुक्त हो सकता है। इस प्रकार ये तकनीकें केवल ऊर्जा उत्पादन तक सीमित नहीं रहतीं, बल्कि मूल्यवर्धित उत्पाद भी दे सकती हैं (लोम्बार्डी आदि, 2015)।

INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPLORING EMERGING TRENDS IN ENGINEERING
Peer-Reviewed, Refereed, Indexed and International Journal, https://ijoeete.com/
(Peer Review Journal as per UGC 2025 Standard Guidelines)
|ISSN No. 2394-0573 |Volume: 12, Issue: 4 | October – December 2025

फिर भी व्यवहार में इन तकनीकों के लिए फीडस्टॉक की एकरूपता, उच्च प्रारंभिक निवेश, परिष्कृत नियंत्रण प्रणाली और विशेषज्ञ संचालन की आवश्यकता होती है। इसलिए कई विकासशील क्षेत्रों में इनका बड़े पैमाने पर प्रसार सीमित रहा है। समीक्षा से संकेत मिलता है कि इन तकनीकों की सफलता स्थानीय तकनीकी क्षमता और बाजार–संरचना पर बहुत निर्भर करती है (कुमार और समादर, 2017)।

4.4 जैव–ईंधन और अन्य उभरते विकल्प

कृषि अवशेष, शर्करा–समृद्ध और स्टार्च–समृद्ध जैविक सामग्री, तथा कुछ औद्योगिक जैविक अपशिष्टों से एथेनॉल, बायोडीजल और अन्य जैव–ईंधन तैयार किए जा सकते हैं। यह मार्ग विशेष रूप से कृषि प्रधान अर्थव्यवस्थाओं के लिए प्रासंगिक है, जहाँ फसल अवशेष प्रचुर मात्रा में उपलब्ध होते हैं। यद्यपि जैव–ईंधन उत्पादन हमेशा 'कचरे' से ही न हो, फिर भी अपशिष्ट–आधारित फीडस्टॉक के उपयोग से भोजन बनाम ईंधन की बहस को कम किया जा सकता है (कोठारी एट अल., 2010; चेरुबिनी, 2010)।

इसी प्रकार लैंडफिल गैस पुनर्प्राप्ति, अपशिष्ट ऊष्मा पुनः उपयोग, तथा को–प्रोसेसिंग जैसे विकल्प भी अपशिष्ट ऊर्जा के विस्तृत दायरे में आते हैं। औद्योगिक इकाइयों में निकलने वाली अतिरिक्त ऊष्मा को पुनः प्रक्रिया में शामिल कर ऊर्जा दक्षता बढ़ाई जा सकती है। इससे ऊर्जा संरक्षण की अवधारणा को व्यावहारिक बल मिलता है।

उभरते विकल्पों का महत्व इसलिए भी है क्योंकि वे अपशिष्ट–से–ऊर्जा को एक बहु–तकनीकी क्षेत्र बनाते हैं। भविष्य में एकीकृत प्रणालियाँ, जहाँ जैविक भाग से बायोगैस और शेष भाग से आरडीएफ या गैसीकरण आधारित ऊर्जा प्राप्त की जाए, अधिक प्रभावी सिद्ध हो सकती हैं।

5. अपशिष्ट ऊर्जा के सकारात्मक पर्यावरणीय प्रभाव

साहित्य समीक्षा से पता चलता है कि वैज्ञानिक रूप से संचालित अपशिष्ट–से–ऊर्जा प्रणाली कई पर्यावरणीय लाभ प्रदान कर सकती है। पहला लाभ लैंडफिल पर निर्भरता में कमी है। जब अपशिष्ट का उपयोग ऊर्जा पुनर्प्राप्ति हेतु किया जाता है, तो खुले डंप या लैंडफिल में जाने वाली मात्रा कम हो जाती है। इससे भूमि अधिग्रहण, दुर्गंध, लीचेट, और लैंडफिल–जनित ग्रीनहाउस गैसों की समस्या में कमी आती है (विल्सन, 2007; डोंग एट अल., 2016)।

दूसरा प्रमुख लाभ ग्रीनहाउस गैस नियंत्रण से जुड़ा है। विशेषकर जैविक अपशिष्ट के वैज्ञानिक प्रबंधन से अनियंत्रित मीथेन उत्सर्जन कम किया जा सकता है। एनेरोबिक डाइजेशन जैसी विधियाँ इस गैस को पकड़कर ऊर्जा में बदल देती हैं, जिससे जलवायु परिवर्तन पर दबाव घटाने में योगदान मिलता है (एपेल्स एट अल., 2008; स्कार्लेट एट अल., 2018)।

तीसरा लाभ ऊर्जा मिश्रण में विविधता और जीवाश्म ईंधनों के स्थानापन्न से संबंधित है। यदि नगर अपशिष्ट, कृषि अवशेष या जैविक कचरे से बिजली, गैस या ईंधन तैयार होता है, तो कोयला और पेट्रोलियम पर प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष निर्भरता कम हो सकती है।

चौथा लाभ संसाधन दक्षता और परिपत्र अर्थव्यवस्था का है, जहाँ अपशिष्ट को मूल्यवान संसाधन के रूप में पुनर्परिभाषित किया जाता है (कोठारी आदि, 2010)।

INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPLORING EMERGING TRENDS IN ENGINEERING
Peer-Reviewed, Refereed, Indexed and International Journal, https://ijoeete.com/
(Peer Review Journal as per UGC 2025 Standard Guidelines)
|ISSN No. 2394-0573 |Volume: 12, Issue: 4 | October – December 2025

पाँचवाँ लाभ सार्वजनिक स्वच्छता और शहरी शासन से जुड़ा है। कचरे का वैज्ञानिक प्रसंस्करण नगर प्रशासन पर दबाव कम करता है और स्वच्छता मिशनों को व्यवहारिक आधार प्रदान करता है। इस प्रकार अपशिष्ट ऊर्जा तकनीकें ऊर्जा उत्पादन से आगे बढ़कर पर्यावरणीय प्रशासन के व्यापक उद्देश्यों को भी समर्थन देती हैं।

6. संभावित नकारात्मक प्रभाव, जोखिम और सीमाएँ

अपशिष्ट ऊर्जा प्रणालियों के लाभों के साथ कई महत्वपूर्ण जोखिम भी जुड़े हैं। सबसे प्रमुख चिंता वायु प्रदूषण की है, विशेषकर दहन और कुछ ताप–रासायनिक तकनीकों में। यदि उत्सर्जन नियंत्रण, स्क्रबर, फिल्टर और राख प्रबंधन सही न हो, तो सूक्ष्म कण, अम्लीय गैसें, डाइऑक्सिन, फ्यूरान और भारी धातुएँ पर्यावरण में प्रवेश कर सकती हैं (एस्ट्रुप एट अल., 2009; लोम्बार्डी एट अल., 2015)।

दूसरी सीमा अपशिष्ट संरचना और पृथक्करण से संबंधित है। विकासशील देशों में नगरपालिका ठोस अपशिष्ट प्रायः अधिक नमी वाला, मिश्रित और जैविक अंश से समृद्ध होता है। ऐसी स्थिति में बिना पूर्व–प्रसंस्करण के दहन या उन्नत ताप–रासायनिक तकनीकें अपेक्षित ऊर्जा दक्षता नहीं दे पातीं। वहीं जैविक तकनीकों में प्लास्टिक या अकार्बनिक अशुद्धियाँ संचालन को बाधित कर सकती हैं (कुमार और समादर, 2017)।

तीसरा जोखिम आर्थिक और संस्थागत है। कई तकनीकें पूंजी–गहन हैं और दीर्घकालिक सफलता के लिए नियमित रखरखाव, प्रशिक्षित मानव संसाधन, स्थिर फीडस्टॉक और नीति समर्थन की आवश्यकता होती है। यदि ये शर्तें पूरी न हों, तो संयंत्र बंद हो सकते हैं या कम क्षमता पर चल सकते हैं। चौथी सीमा सामाजिक स्वीकृति की है; स्थानीय समुदाय कभी–कभी दहन संयंत्रों या बड़े अपशिष्ट प्रसंस्करण केंद्रों का विरोध करते हैं, विशेषकर तब जब पारदर्शिता और निगरानी कमजोर हो।

अतः अपशिष्ट ऊर्जा को 'स्वतः हरित' मान लेना उचित नहीं है। इसका पर्यावरणीय मूल्य तकनीक, प्रबंधन और नियमन की गुणवत्ता पर निर्भर करता है।

7. भारत तथा विकासशील संदर्भ में प्रासंगिकता

भारत और अन्य विकासशील देशों में अपशिष्ट–से–ऊर्जा की चर्चा विशेष महत्व रखती है, क्योंकि यहाँ तीव्र शहरीकरण, जनसंख्या वृद्धि, बढ़ती खपत और अव्यवस्थित अपशिष्ट प्रबंधन एक साथ मौजूद हैं। अनेक नगरों में ठोस अपशिष्ट संग्रहण, पृथक्करण और प्रसंस्करण अभी भी सीमित है, जिसके कारण लैंडफिल और खुले डंप की समस्या गंभीर बनी हुई है। ऐसी स्थिति में अपशिष्ट ऊर्जा मॉडल केवल तकनीकी विकल्प नहीं, बल्कि शहरी शासन के लिए रणनीतिक हस्तक्षेप बन जाता है।

हालाँकि भारतीय संदर्भ में एक महत्वपूर्ण तथ्य यह है कि नगरपालिका कचरे में जैविक और नमीयुक्त अंश अधिक होता है। इसलिए पश्चिमी देशों के दहन–प्रधान मॉडल को सीधे लागू करना हमेशा सफल नहीं हो सकता। यहाँ स्रोत–स्तर पर पृथक्करण, विकेन्द्रीकृत बायोगैस संयंत्र, कंपोस्टिंग, आरडीएफ–आधारित चयनित उपयोग और क्षेत्र–विशिष्ट मिश्रित मॉडल अधिक उपयुक्त हो सकते हैं (कुमार और समादर, 2017)।

ग्रामीण और अर्ध–शहरी क्षेत्रों में गोबर, कृषि अवशेष और भोजन अपशिष्ट से बायोगैस की व्यापक संभावनाएँ हैं। वहीं औद्योगिक क्लस्टरों में अपशिष्ट ऊष्मा पुनर्प्राप्ति और जैविक अपशिष्ट–आधारित ऊर्जा प्रणालियाँ

INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPLORING EMERGING TRENDS IN ENGINEERING
Peer-Reviewed, Refereed, Indexed and International Journal, https://ijoeete.com/
(Peer Review Journal as per UGC 2025 Standard Guidelines)
|ISSN No. 2394-0573 |Volume: 12, Issue: 4 | October – December 2025

ऊर्जा दक्षता को मजबूत कर सकती हैं। इस प्रकार भारत जैसे देशों के लिए अपशिष्ट ऊर्जा का सफल भविष्य तकनीकी आयात से अधिक स्थानीय अनुकूलन, संस्थागत समन्वय और समुदाय–आधारित प्रबंधन पर निर्भर करता है।

8. समीक्षा–आधारित चर्चा

समग्र साहित्य यह संकेत करता है कि अपशिष्ट–से–ऊर्जा को एकल समाधान के रूप में नहीं, बल्कि एकीकृत अपशिष्ट प्रबंधन ढाँचे के अंग के रूप में समझना चाहिए। जहाँ स्रोत–स्तर पृथक्करण, वैज्ञानिक संग्रहण, पूर्व–प्रसंस्करण, उचित तकनीकी चयन, तथा उत्सर्जन निगरानी उपलब्ध हैं, वहाँ यह प्रणाली ऊर्जा और पर्यावरण दोनों दृष्टियों से सकारात्मक परिणाम दे सकती है (एरिना, 2012; डोंग एट अल., 2016)। इसके विपरीत, जहाँ तकनीक चयन स्थानीय अपशिष्ट संरचना से असंगत हो या नीति–कार्यान्वयन कमजोर हो, वहाँ परिणाम निराशाजनक रहे हैं।

तालिका नंबर 1: तुलनात्मक सारणी: प्रमुख तकनीकें, उपयोगिता और पर्यावरणीय संकेत

तकनीक	उपयुक्त अपशिष्ट	मुख्य लाभ	मुख्य सीमाएँ/जोखिम
एनेरोबिक डाइजेशन	भोजन अपशिष्ट, गोबर, सीवेज स्लज, नमीयुक्त जैविक अपशिष्ट	बायोगैस, डाइजेस्टेट, मीथेन नियंत्रण	फीडस्टॉक शुद्धता, तापमान व संचालन पर निर्भरता
दहन (इंसिनरेशन)	मिश्रित/सूखे तथा उच्च कैलोरिफिक ठोस अपशिष्ट	आयतन में तीव्र कमी, निरंतर ऊष्मा/बिजली	उत्सर्जन, राख प्रबंधन, उच्च नियंत्रण लागत
गैसीकरण	RDF, सूखे कार्बनिक अवशेष, कुछ औद्योगिक अपशिष्ट	सिंथेटिक गैस, अपेक्षाकृत उन्नत ऊर्जा पुनर्प्राप्ति	फीडस्टॉक की एकरूपता और तकनीकी जटिलता
पायरोलिसिस	प्लास्टिक-समृद्ध मिश्रण, सूखे अवशेष	गैस, तेल, चार जैसे विविध उत्पाद	उच्च निवेश, जटिल संचालन, उत्पाद शोधन की आवश्यकता
जैव-ईंधन/अन्य	कृषि अवशेष, जैविक उप-उत्पाद, लैंडफिल गैस	वैकल्पिक ईंधन, क्षेत्र-विशिष्ट उपयोगिता	फीडस्टॉक आपूर्ति, आर्थिक व्यवहार्यता

चर्चा का दूसरा महत्वपूर्ण बिंदु यह है कि अपशिष्ट ऊर्जा की उपयोगिता तकनीकी दक्षता के साथ–साथ शासन क्षमता पर भी निर्भर करती है। नगर निकाय, निजी ऑपरेटर, प्रदूषण नियंत्रण एजेंसियाँ और समुदायकृ इन सभी की भूमिकाएँ स्पष्ट और समन्वित होनी चाहिए। अन्यथा संयंत्र केवल प्रतीकात्मक निवेश बनकर रह जाते हैं।

तीसरा बिंदु पर्यावरणीय मूल्यांकन का है। जीवन–चक्र मूल्यांकन से यह समझने में सहायता मिलती है कि किसी विशेष तकनीक का वास्तविक कार्बन लाभ, ऊर्जा दक्षता और अवशिष्ट प्रभाव क्या है (फिनवेडेन एट अल., 2005; चेरुबिनी, 2010)। इसलिए भविष्य की नीति में मात्र बिजली उत्पादन नहीं, बल्कि समग्र पारिस्थितिक पदचिह्न को आधार बनाया जाना चाहिए।

9. निष्कर्ष और सुझाव

INTERNATIONAL JOURNAL OF EXPLORING EMERGING TRENDS IN ENGINEERING
Peer-Reviewed, Refereed, Indexed and International Journal, https://ijoeete.com/
(Peer Review Journal as per UGC 2025 Standard Guidelines)
|ISSN No. 2394-0573 |Volume: 12, Issue: 4 | October – December 2025

इस समीक्षा से स्पष्ट होता है कि अपशिष्ट ऊर्जा का क्षेत्र वैज्ञानिक, पर्यावरणीय और नीतिगत दृष्टि से अत्यंत महत्वपूर्ण है। एनेरोबिक डाइजेशन, दहन, गैसीकरण, पायरोलिसिस और जैव–ईंधन जैसी तकनीकें अलग–अलग प्रकार के अपशिष्टों के लिए उपयोगी विकल्प प्रस्तुत करती हैं। यदि इनका प्रयोग स्थानीय परिस्थितियों और पर्यावरणीय मानकों के अनुसार किया जाए, तो वे ऊर्जा संरक्षण, उत्सर्जन नियंत्रण, स्वच्छता और संसाधन पुनर्प्राप्ति में महत्वपूर्ण योगदान दे सकती हैं।

फिर भी यह समान रूप से सत्य है कि अपशिष्ट ऊर्जा का हर मॉडल पर्यावरण–अनुकूल नहीं होता। प्रबंधन की कमी, गलत तकनीकी चयन, अपशिष्ट पृथक्करण का अभाव, और उत्सर्जन नियंत्रण की कमजोरी इसके संभावित लाभों को सीमित कर सकते हैं। इसलिए नीति–निर्माताओं के लिए यह आवश्यक है कि वे अपशिष्ट की स्थानीय संरचना के अनुरूप तकनीक चुनें, निगरानी तंत्र मजबूत करें, और विकेंद्रीकृत व सामुदायिक मॉडल को बढ़ावा दें।

सुझाव के रूप में कहा जा सकता है कि स्रोत–स्तर पृथक्करण अनिवार्य बनाया जाएय जैविक अपशिष्ट के लिए बायोगैस और कम्पोस्टिंग के समन्वित मॉडल विकसित किए जाएँय उच्च–कैलोरिफिक अवशेषों के लिए ही उन्नत थर्मल तकनीकों को अपनाया जाएय और प्रत्येक परियोजना के लिए जीवन–चक्र मूल्यांकन व उत्सर्जन ऑडिट अनिवार्य किया जाए। इस प्रकार अपशिष्ट ऊर्जा को ऊर्जा संकट और पर्यावरणीय चुनौतियों के बीच एक संतुलित समाधान के रूप में विकसित किया जा सकता है.

संदर्भ सूची

एप्पल्स, एल., बेयेंस, जे., डेग्रेव, जे., और डेविल, आर. (2008). वेस्ट–एक्टिवेटेड स्लज के एनारोबिक डाइजेशन के सिद्धांत और क्षमता। ऊर्जा और दहन विज्ञान में प्रगति, 34(6), 755–781.

एरीना, यू. (2012). नगरपालिका ठोस कचरे के गैसीकरण के प्रक्रिया और तकनीकी पहलू: एक समीक्षा। अपशिष्ट प्रबंधन, 32(4), 625–639.

एस्ट्रुप, टी., मोलर, जे., और फ्रूएरगार्ड, टी. (2009). कचरे का भस्मीकरण और सह–दहनः ग्रीनहाउस गैसों और ग्लोबल वार्मिंग में योगदान का लेखा–जोखा। अपशिष्ट प्रबंधन और अनुसंधान, 27(8), 789–799.

झांग, डी., हुआंग, जी., जू, वाई., और गोंग, क्यू. (2015). चीन में कचरे से ऊर्जाः मुख्य चुनौतियां और अवसर। ऊर्जा, 8(12), 14182–14196.

कोठारी, आर., त्यागी, वी. वी., एवं पाठक, ए. (2010). कचरे से ऊर्जाः नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतों से सतत विकास की ओर एक मार्ग। नवीकरणीय और सतत ऊर्जा समीक्षा, 14(9), 3164–3170.

कुमार, ए., और समद्दर, एस. आर. (2017). नगरपालिका ठोस कचरे के प्रभावी प्रबंधन के लिए कचरे से ऊर्जा प्राप्त करने के तकनीकी विकल्पों पर एक समीक्षा। अपशिष्ट प्रबंधन, 69, 407–422.

माल्कोव, टी. (2004). ऊर्जा–कुशल और पर्यावरण के अनुकूल डैं (म्युनिसिपल सॉलिड वेस्ट) के निपटान के लिए नई और इनोवेटिव पायरोलिसिस और गैसीफिकेशन टेक्नोलॉजी। अपशिष्ट प्रबंधन, 24(1), 53–79.

विल्सन, डी. सी. (2007). कचरा प्रबंधन के लिए विकास के कारक। अपशिष्ट प्रबंधन और अनुसंधान, 25(3), 198–207.

फिनवेडेन, जी., जोहान्सन, जे., लिंड, पी., और मोबर्ग, ए. (2005). ठोस कचरे से ऊर्जा के जीवन चक्र का मूल्यांकन – भाग 1: सामान्य कार्यप्रणाली और परिणाम। जर्नल ऑफ क्लीनर प्रोडक्शन, 13(3), 213–229.

स्कारलेट, एन., डैलमैंड, जे.–एफ., और फहल, एफ. (2018). बायोगैसः यूरोप में विकास और संभावनाएं। नवीकरणीय ऊर्जा, 129, 457–472.

डोंग, जे., ची, वाई., तांग, वाई., नी, एम., एनजिहो, ए., वीस–होर्टाला, ई., और हुआंग, क्यू. (2016). चीन में वेस्ट–टू–एनर्जी में प्रगतिः एक रिव्यू। नवीकरणीय और सतत ऊर्जा समीक्षा, 54, 371–382.

वेइलैंड, पी. (2010). बायोगैस उत्पादनः वर्तमान स्थिति और संभावनाएं। एप्लाइड माइक्रोबायोलॉजी और बायोटेक्नोलॉजी, 85, 849–860.

चेरुबिनी, एफ. (2010). बायो–रिफाइनरी की अवधारणाः ऊर्जा और रसायन बनाने के लिए तेल के बजाय बायोमास का उपयोग। ऊर्जा रूपांतरण और प्रबंधन, 51(7), 1412–1421.

टचोबानोग्लौस, जी., थीसेन, एच., और विजिल, एस. ए. (1993). एकीकृत ठोस कचरा प्रबंधनः इंजीनियरिंग सिद्धांत और प्रबंधन के मुद्दे। मैकग्रॉ–हिल.

लोम्बार्डी, एल., कार्नेवाले, ई., और कोर्टी, ए. (2015). कचरे से ऊर्जा निकालने के लिए थर्मल ट्रीटमेंट सिस्टम की टेक्नोलॉजी और परफॉर्मेंस की समीक्षा। अपशिष्ट प्रबंधन, 37, 26–44.