"सतत् विकास के लिए हरित रसायन के नवाचार"

प्रो. डॉ मंजुल मिश्रा
विभागाध्यक्ष, रसायन शास्त्र विभाग
एपेक्स यूनिवर्सिटी, जयपुर

प्रस्तावना :

वर्तमान समय में बढ़ते औद्योगीकरण और तकनीकी प्रगति के साथ-साथ पर्यावरणीय प्रदूषण, संसाधनों की कमी और जलवायु परिवर्तन जैसी चुनौतियाँ भी सामने आ रही हैं। अत: आज की दुनिया में पर्यावरण संरक्षण और संसाधनों के कुशल उपयोग की आवश्यकता पहले से कहीं अधिक बढ़ गई है। पारंपरिक औद्योगिक रसायन विज्ञान जहाँ एक ओर मानव जीवन को सुविधाजनक बनाता है, वहीं दूसरी ओर प्रदूषण, अपशिष्ट, ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन और स्वास्थ्य संबंधी समस्याओं को भी जन्म देता है। ऐसे में हरित रसायन (Green Chemistry) एक ऐसी वैज्ञानिक दृष्टि प्रदान करता है जो रासायनिक प्रक्रियाओं को पर्यावरण-अनुकूल, ऊर्जा-कुशल और सतत बनाता है।

हरित रसायन की परिभाषा एवं सिद्धांत :

हरित रसायन का तात्पर्य ऐसे रासायनिक उत्पादों और प्रक्रियाओं के विकास से है जो खतरनाक पदार्थों के उपयोग और उत्पादन को कम या समाप्त करें। अमेरिकी वैज्ञानिक पॉल एनेस्टास और जॉन वॉर्नर द्वारा प्रतिपादित 12 सिद्धांतों में अपशिष्ट को कम करना, ऊर्जा की बचत, नवीकरणीय कच्चे माल का उपयोग, सुरक्षित विलायकों का प्रयोग तथा बायोडिग्रेडेबल उत्पाद बनाना शामिल है।

सतत् विकास में हरित रसायन की भूमिका :

सतत् विकास का अर्थ है – ऐसा विकास जो वर्तमान पीढ़ी की आवश्यकताओं को पूरा करे, लेकिन भविष्य की पीढ़ियों की जरूरतों से समझौता न करे। हरित रसायन इस दिशा में एक सशक्त उपकरण के रूप में महत्वपूर्ण योगदान देता हैI इसका मुख्य उद्देश्य है –

- प्रदूषण की रोकथाम
- संसाधनों का संरक्षण
- नवीकरणीय संसाधनों का उपयोग,
- ऊर्जा एवं जल की बचत,
- ऊर्जा-कुशल तकनीकों का विकास
- स्वास्थ्य और पर्यावरण की सुरक्षा, तथा
- सतत् विकास की दिशा में वैज्ञानिक नवाचार।

भारत में औद्योगिक क्षेत्र और केस स्टडी : भारत तेजी से औद्योगिक विकास कर रहा है। इस विकास में हरित रसायन का महत्व विशेष रूप से उभरकर सामने आया है।

(क) फार्मास्युटिकल उद्योग

- भारतीय दवा कंपनियाँ सॉल्वेंट-फ्री प्रतिक्रियाओं और **एंजाइम आधारित उत्प्रेरकों** का प्रयोग कर रही हैं।
- डॉ. रेड्डीज़ और सन फार्मा जैसी कंपनियाँ हरित संश्लेषण तकनीकों पर काम कर रही हैं जिससे लागत व प्रदूषण दोनों में कमी आई है।

(ख) वस्त्र उद्योग

- वस्त्र उद्योग में रंगाई और धुलाई के दौरान भारी मात्रा में जल प्रदूषण होता है।
- अब कंपनियाँ **पर्यावरण-अनुकूल डाई** और **जल रहित रंगाई तकनीक** अपनाने लगी हैं।
- इससे न केवल पानी की खपत 70% तक कम हुई है बल्कि रसायनों का उपयोग भी घटा है।

(ग) रासायनिक उद्योग

- पेट्रोकेमिकल क्षेत्र में पारंपरिक उत्प्रेरकों की जगह **नैनो-कैटेलिस्ट** और **ग्रीन सॉल्वेंट** का प्रयोग हो रहा है।
- भारतीय तेल निगम (IOCL) ने अपनी कई रिफाइनरियों में प्रदूषण-मुक्त प्रक्रियाओं को अपनाया है।

आँकड़े और तथ्य:

- संयुक्त राष्ट्र (UN) की रिपोर्ट के अनुसार, भारत में औद्योगिक प्रदूषण का लगभग 25% **हिस्सा रसायन उद्योग से आता है।**
- हरित रसायन आधारित तकनीकों के प्रयोग से यह आँकड़ा आने वाले दशक में 10–12% **तक घटाया जा सकता है।**
- वस्त्र उद्योग में क्लीनर प्रोडक्शन विधि अपनाने से जल उपयोग में 50–70% **की कमी** दर्ज की गई है।

हरित रसायन विज्ञान के विभिन्न क्षेत्रों में हो रहे नवाचार:

1. सतत रासायनिक प्रक्रियाएँ

- औद्योगिक संश्लेषण के लिए विलायक-रहित अभिक्रियाएँ।
- दवाओं के लिए माइक्रोवेव-सहायता प्राप्त हरित संश्लेषण।
- रासायनिक अपशिष्ट को कम करने हेतु उत्प्रेरकों का पुनः उपयोग।

2. नवीकरणीय कच्चा माल

- कृषि अपशिष्ट जैसे चावल की भूसी एवं गन्ने की बगास का उपयोग।
- पेट्रोलियम आधारित प्लास्टिक की जगह बायोपॉलिमर का विकास।
- कार्बन डाइऑक्साइड को मूल्यवान रसायनों में बदलना।

3. जल एवं ऊर्जा दक्षता

- जल शुद्धिकरण एवं खारे पानी को मीठा करने की हरित विधियाँ।
- स्वच्छ हाइड्रोजन ईंधन हेतु प्रकाश-उत्प्रेरित जल विभाजन।
- न्यूनतम ऊर्जा हानि वाले रासायनिक रिएक्टरों का डिज़ाइन।

4. जैव-उत्प्रेरण एवं एंजाइम अनुप्रयोग

- दवाओं और सूक्ष्म रसायनों का एंजाइम आधारित संश्लेषण।
- सूक्ष्मजीव ईंधन कोशिकाओं द्वारा ऊर्जा एवं अपशिष्ट जल उपचार।

- औद्योगिक प्रक्रियाओं हेतु एंजाइम स्थिरीकरण तकनीक।

5. हरित नैनोप्रौद्योगिकी

- चिकित्सा एवं पर्यावरण में उपयोगी पर्यावरण-अनुकूल नैनोकणों का संश्लेषण।
- पैकेजिंग के लिए जैव-अपघटनीय नैनोकॉम्पोज़िट्स।
- पौधों के अर्क से हरित नैनोकणों का निर्माण।

6. अपशिष्ट मूल्यवर्द्धन

- औद्योगिक अपशिष्ट को उपयोगी रसायनों में बदलना।
- प्लास्टिक एवं ई-वेस्ट का अपसाइक्लिंग कर नए उत्पाद बनाना।
- बायोगैस एवं जैव-उर्वरक उत्पादन हेतु अवायवीय अपघटन।

7. हरित विश्लेषणात्मक रसायन विज्ञान

- गैर-विषैले अभिकर्मक एवं विलायकों का विकास।
- रसायनों की कम खपत हेतु माइक्रोफ्लूडिक विश्लेषण तकनीकें।
- प्रदूषण की वास्तविक समय में निगरानी हेतु ऑनलाइन मॉनिटरिंग।

8. उद्योग-विशिष्ट नवाचार

- वस्त्रों की रंगाई एवं फिनिशिंग हेतु हरित विधियाँ।
- पर्यावरण-अनुकूल कीटनाशक एवं उर्वरक।
- भारतीय औद्योगिक क्षेत्र में दवाओं का स्वच्छ संश्लेषण।

9. परिपत्र अर्थव्यवस्था एवं हरित रसायन विज्ञान

- रसायनों को पुनर्चक्रण योग्य रूप में प्रारंभ से ही डिज़ाइन करना।
- हरित उत्पादों का जीवन-चक्र मूल्यांकन।
- रासायनिक उत्पादन में कार्बन फुटप्रिंट कम करना।

10. उभरते एवं अत्याधुनिक विचार

- कृत्रिम प्रकाश-संश्लेषण द्वारा सौर-से-रसायन ऊर्जा का उत्पादन।
- विषैले अभिकर्मकों की जगह विद्युत-रासायनिक हरित संश्लेषण।
- पर्यावरणीय परिस्थितियों के अनुसार प्रतिक्रिया देने वाली स्मार्ट जैव-अपघटनीय सामग्री।

निष्कर्ष:

हरित रसायन विज्ञान आधुनिक युग की आवश्यकताओं को पूरा करते हुए पर्यावरण संरक्षण और सतत विकास की दिशा में अग्रसर है। हरित रसायन न केवल पर्यावरणीय समस्याओं का समाधान प्रस्तुत करता है बल्कि यह औद्योगिक लागत कम करके आर्थिक विकास को भी प्रोत्साहित करता है। भारत जैसे विकासशील देश के लिए यह और भी महत्वपूर्ण है, जहाँ औद्योगिक विकास और पर्यावरण संरक्षण दोनों को समान महत्व देना आवश्यक है। इसलिए "सतत विकास के लिए हरित रसायन" को भविष्य की वैज्ञानिक नीतियों, औद्योगिक रणनीतियों और शैक्षिक पाठ्यक्रमों में विशेष स्थान दिया जाना चाहिए। यदि उद्योग, शोधकर्ता एवं नीति-निर्माता मिलकर इन हरित तकनीकों को अपनाएँ, तो निश्चित रूप से हम एक स्वच्छ, स्वस्थ और सतत भविष्य की ओर बढ़ सकते हैं।

संदर्भ:

1. रालिया, आर., तरफदार, जे. सी., & बिस्वास, पी. (2016). मूंग की जड़ क्षेत्र में देशज फॉस्फोरस की सक्रियता को बढ़ाने के लिए मिट्टी की कवक द्वारा संश्लेषित ZnO नैनोकणों का उपयोग। जर्नल ऑफ एग्रीकल्चरल एंड फूड केमिस्ट्री, 64(16), 3111–3118.

2. नेगी, एम., शर्मा, एस., शर्मा, यू., कुमार, पी., शर्मा, यू., & शर्मा, के. (2022). कृषि में नैनो-उर्वरकों के वर्तमान और संभावित सतत उपयोग के पहलू और मिट्टी स्वास्थ्य पर उनके प्रभाव: एक अद्यतन समीक्षा। जर्नल ऑफ सोइल साइंस एंड प्लांट न्यूट्रिशन, 22(1), 1–16.

3. शर्मा, ए. के., स्वामी, ए. के., सारन, एम., & माथुर, एम. (2020). उनके बायोमेडिकल अनुप्रयोगों के लिए टंगस्टन नैनोकणों का संश्लेषण। इंटरनेशनल जर्नल ऑफ फार्मास्यूटिकल साइंसेज एंड रिसर्च, 11(8), 4070–4077.