International Journal on Science and Technology (IJSAT)

E-ISSN: 2229-7677 ● Website: www.ijsat.org ● Email: editor@ijsat.org

दैनिक जीवन में विषैले रसायन: उनका पर्यावरणीय प्रभाव और सुरक्षित विकल्प

Dr. Sarika Sharma

Department of Chemistry
Government Degree College, Budaun, Uttar Pradesh, India.

सार (Abstract)
दैनिक जीवन में प्रयुक्त अनेक उपभोक्ता उत्पाद—जैसे प्लास्टिक, सौंदर्य प्रसाधन, सफाई एजेंट, कीटनाशक, इलेक्ट्रॉनिक उपकरण तथा पैकेजिंग सामग्री—विषैले रसायनों के महत्वपूर्ण स्रोत हैं। इनमें फ्थैलेट्स, बिस्फेनॉल-A (BPA), पर- और पॉलीफ्लोरोएल्काइल पदार्थ (PFAS), भारी धातुएँ तथा वाष्पशील कार्बनिक यौगिक (VOCs) शामिल हैं, जो मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण दोनों के लिए गंभीर जोखिम उत्पन्न करते हैं। ये रसायन वायु, जल, मृदा तथा जैविक तंत्रों में स्थायित्व, जैव-संचयन और दीर्घकालिक विषाक्त प्रभाव प्रदर्शित करते हैं। यह लेख विषैले रसायनों के स्रोत, परिवहन, अपघटन-व्यवहार और पारिस्थितिक प्रभावों का समालोचनात्मक विश्लेषण प्रस्तुत करता है। साथ ही, हरित रसायन (Green Chemistry), जैव-आधारित पदार्थों, कम-विषाक्त विकल्पों तथा नियामक नीतियों की भूमिका का मूल्यांकन किया गया है। अध्ययन यह रेखांकित करता है कि सुरक्षित विकल्पों की पहचान, जीवन-चक्र-आधारित मूल्यांकन, तथा उद्योग-नीति-समाज के समन्वित प्रयासों के माध्यम से रासायनिक जोखिम को प्रभावी रूप से कम किया जा सकता है। यह विषय सतत विकास, सार्वजनिक स्वास्थ्य और पर्यावरणीय न्याय की दृष्टि से अत्यंत महत्वपूर्ण है।

1. प्रस्तावना

आधुनिक मानव जीवन तीव्र औद्योगिकीकरण, शहरीकरण, वैश्वीकरण और उपभोक्तावादी संस्कृति के प्रभाव में गहराई से परिवर्तित हुआ है। सुविधा, स्वच्छता, सौंदर्य, टिकाऊपन, हल्केपन, जलरोधकता, अग्निरोधकता और कम लागत जैसे गुणों की प्राप्ति के लिए आज लगभग प्रत्येक उपभोक्ता उत्पाद में विविध प्रकार के रासायनिक पदार्थों का उपयोग किया जाता है। प्लास्टिक पैकेजिंग, खाद्य भंडारण सामग्री, सौंदर्य प्रसाधन, व्यक्तिगत देखभाल उत्पाद, घरेलू सफाई एजेंट, कीटनाशक, वस्त्र, इलेक्ट्रॉनिक उपकरण, फर्नीचर, निर्माण सामग्री तथा चिकित्सा और स्वच्छता संबंधी उत्पादों में संश्लेषित रसायनों की उपस्थिति सामान्य हो चुकी है। रासायनिक पदार्थों का यह व्यापक उपयोग आधुनिक जीवन शैली की कार्यकुशलता और सुविधा को बढ़ाता है, किंतु इसके साथ मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण पर दीर्घकालिक दुष्प्रभावों की आशंका भी निरंतर बढ़ी है (Colborn et al., 2003; Geiser, 2001; Landrigan et al., 2004)।

दैनिक जीवन में प्रयुक्त रसायनों की समस्या का एक महत्वपूर्ण पक्ष यह है कि इनमें से अनेक पदार्थ प्रत्यक्ष रूप से दिखाई नहीं देते, न ही उनके तात्कालिक प्रभाव हमेशा स्पष्ट होते हैं। कई रसायन उत्पादों के भीतर प्लास्टिसाइज़र, संरक्षक, अग्निरोधक, विलायक, सुगंध, जीवाणुरोधी एजेंट, जल-रोधी परत, रंग स्थिरकारक अथवा पैकेजिंग घटक के रूप में सम्मिलित रहते हैं। उदाहरणस्वरूप, फ्थैलेट्स का उपयोग प्लास्टिक को लचीला बनाने के लिए, बिस्फेनॉल-A (BPA) का उपयोग पॉलीकार्बोनेट प्लास्टिक और एपॉक्सी रेज़िन में, पर- और पॉलीफ्लोरोएल्काइल पदार्थ (PFAS) का उपयोग जल एवं तेल प्रतिरोधी सामग्रियों में, तथा वाष्पशील कार्बनिक यौगिक (VOCs) का उपयोग पेंट, क्लीनर और एयर फ्रेशनर में व्यापक रूप से किया गया है। इसी प्रकार, भारी धातुएँ जैसे सीसा, पारा और कैडमियम बैटरियों, इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों, रंगों और कुछ औद्योगिक प्रक्रियाओं से जुड़े प्रमुख प्रदूषक हैं (Schecter et al., 2010; Vandenberg et al., 2007; Wania, 2007; Jones-Otazo et al., 2005)। इन रसायनों की व्यापकता का मूल कारण यह है कि आधुनिक उत्पाद-डिज़ाइन में कार्यात्मक प्रदर्शन को प्रायः प्राथमिकता दी गई है, जबकि रासायनिक सुरक्षा

का आकलन कई बार बाद के चरणों में किया जाता है। परिणामस्वरूप, सामान्य उपयोगकर्ता दैनिक जीवन की सामान्य वस्तुओं के माध्यम से निरंतर निम्न-स्तरीय रासायनिक संपर्क में रहता है। प्लास्टिक की बोतलों, माइक्रोवेव योग्य कंटेनरों, कैन-लाइनिंग, शैम्पू, लोशन, डियोडरेंट, डिटर्जेंट, कीट-नाशक स्प्रे, सुगंधित मोमबत्तियों, फर्नीचर फोम, खिलौनों और ई-कचरे जैसी वस्तुओं से रसायनों का उत्सर्जन, रिसाव, वाष्पीकरण, घिसाव अथवा अपघटन के माध्यम से मानव शरीर तथा पर्यावरण में प्रवेश संभव है (Rudel et al., 2003; Guo and Kannan, 2011; Sathyanarayana, 2008)। विशेष चिंता का विषय यह है कि इनमें से कई रसायन अंतःस्रावी व्यवधानकारी, तंत्रिका-विषैले, कैंसरजन्य, प्रजनन-विषैले या विकासात्मक विषाक्त प्रभावों से जुड़े पाए गए हैं (Diamanti-Kandarakis et al., 2009; Bergman et al., 2013; Woodruff et al., 2011)।

दैनिक उपयोग की वस्तुओं में छिपे हुए ये रासायनिक खतरे केवल मानव संपर्क तक सीमित नहीं हैं, बल्कि उनका पर्यावरणीय आयाम अधिक व्यापक और जटिल है। उत्पादों के निर्माण, उपयोग, धुलाई, निस्तारण, दहन, पुनर्चक्रण और लैंडफिल में विघटन की प्रक्रियाओं के दौरान विषैले रसायन वायु, जल, मृदा और तलछट में प्रवेश करते हैं। घरेलू अपशिष्ट जल, औद्योगिक निकास, लैंडफिल लीचेट, ई-कचरे का अनौपचारिक पुनर्चक्रण, कृषि रसायनों का बहाव तथा इनडोर वायु में उत्सर्जित गैसीय यौगिक पर्यावरणीय प्रसार के प्रमुख माध्यम हैं। अनेक रसायन प्राकृतिक परिस्थितियों में शीघ्र अपघटित नहीं होते और पर्यावरण में लंबे समय तक बने रहते हैं; कुछ जीवित ऊतकों में जमा होते हैं और खाद्य श्रृंखला में ऊपर जाते हुए जैव-आवर्धन प्रदर्शित करते हैं (Muir and Howard, 2006; Giesy and Kannan, 2002; de Wit et al., 2010)। इस प्रकार, उपभोक्ता उत्पादों में उपयोग किए गए रसायन स्थानीय उपयोग से निकलकर वैश्विक पर्यावरणीय समस्या का रूप ले सकते हैं।

इन रसायनों के प्रति चिंता का एक अन्य महत्वपूर्ण कारण उनकी सर्वव्यापकता है। अध्ययन दर्शाते हैं कि कई विषैले रसायन मानव रक्त, मूत्र, मातृदूध, गर्भनाल रक्त, घरेलू धूल, शहरी वायु, नदियों, झीलों, अपशिष्ट जल, समुद्री जीवों और आर्कटिक क्षेत्रों जैसे दूरस्थ पारिस्थितिक तंत्रों में भी पाए गए हैं (Needham et al., 2005; Houde et al., 2006; Haug et al., 2010)। यह स्थिति संकेत करती है कि विषैले रसायनों की समस्या केवल व्यावसायिक या औद्योगिक संपर्क तक सीमित नहीं है, बल्कि सामान्य आबादी, विशेषकर बच्चों, गर्भवती महिलाओं और संवेदनशील समुदायों के लिए भी गंभीर चिंता का विषय है। बच्चों में शरीर का वजन कम होने, अंगों के विकास की अवस्था जारी रहने और व्यवहारगत कारणों से रासायनिक संपर्क का प्रभाव अपेक्षाकृत अधिक हो सकता है (Landrigan et al., 2004; Woodruff et al., 2011)।

रासायनिक जोखिमों का सामाजिक आयाम भी उतना ही महत्वपूर्ण है। समाज के सभी वर्ग रासायनिक प्रदूषण का समान रूप से सामना नहीं करते। निम्न-आय समुदाय, औद्योगिक क्षेत्रों के आसपास रहने वाली आबादी, अनौपचारिक ई-कचरा क्षेत्र में काम करने वाले श्रमिक, अपशिष्ट बीनने वाले, कृषि श्रमिक और प्रदूषित जल स्रोतों पर निर्भर परिवार अनेक बार उच्च जोखिम में होते हैं। इस प्रकार विषैले रसायनों का प्रश्न पर्यावरणीय न्याय से सीधे जुड़ता है, क्योंकि प्रदूषण के लाभ और दुष्परिणाम समान रूप से वितरित नहीं होते (Morello-Frosch et al., 2001; Gee and Payne-Sturges, 2004)। रासायनिक सुरक्षा का प्रश्न इसलिए केवल वैज्ञानिक या तकनीकी नहीं, बल्कि सामाजिक, नैतिक और नीतिगत प्रश्न भी है।

इसी पृष्ठभूमि में प्रस्तुत अध्ययन का उद्देश्य दैनिक जीवन में प्रयुक्त प्रमुख विषैले रसायनों के स्रोतों, उपयोग क्षेत्रों और संपर्क-मार्गों की पहचान करना, उनके पर्यावरणीय परिवहन, स्थायित्व, अपघटन-व्यवहार, जैव-संचयन तथा मानव और पारिस्थितिक तंत्रों पर पड़ने वाले प्रभावों का समालोचनात्मक मूल्यांकन करना है। अध्ययन का एक अन्य प्रमुख उद्देश्य सुरक्षित और तुलनात्मक रूप से कम-विषाक्त विकल्पों की समीक्षा करना है, जिनमें हरित रसायन, जैव-आधारित पदार्थ, वैकल्पिक उत्पाद-डिज़ाइन, गैर-विषैले उपभोक्ता विकल्प तथा जीवन-चक्र-आधारित मूल्यांकन दृष्टिकोण शामिल हैं (Anastas and Warner, 1998; Wilson and Schwarzman, 2009)। केवल किसी एक रसायन को प्रतिबंधित करना पर्याप्त नहीं होता, क्योंकि उसके स्थान पर प्रयुक्त विकल्प भी कभी-कभी समान या नए प्रकार

के जोखिम उत्पन्न कर सकते हैं; इसलिए सुरक्षित विकल्पों की पहचान वैज्ञानिक प्रमाण, कार्यात्मक क्षमता, आर्थिक व्यवहार्यता और पर्यावरणीय स्थिरता के संयुक्त आधार पर की जानी चाहिए (Tickner et al., 2000; Jacobs et al., 2009)।

यह अध्ययन कई स्तरों पर महत्वपूर्ण है। प्रथम, यह सार्वजनिक स्वास्थ्य के लिए अत्यंत प्रासंगिक है क्योंकि दैनिक जीवन में होने वाला कम-स्तरीय किन्तु दीर्घकालिक रासायनिक संपर्क अनेक गैर-संचारी रोगों, प्रजनन संबंधी विकारों, हार्मोनल असंतुलन, एलर्जी, न्यूरोविकासीय समस्याओं और कैंसर के जोखिम से जुड़ा हो सकता है (Diamanti-Kandarakis et al., 2009; Bergman et al., 2013)। द्वितीय, यह पर्यावरणीय संरक्षण के लिए महत्वपूर्ण है क्योंकि स्थायी और जैव-संचयी रसायन जलीय एवं स्थलीय पारिस्थितिक तंत्रों की संरचना, कार्यप्रणाली और जैवविविधता को प्रभावित कर सकते हैं (Giesy and Kannan, 2002; Muir and Howard, 2006)। तृतीय, यह नियामक ढाँचे और नीति-निर्माण के लिए उपयोगी है, क्योंकि रसायनों के पंजीकरण, जोखिम मूल्यांकन, उत्पाद लेबलिंग, अपशिष्ट प्रबंधन, उत्सर्जन नियंत्रण और विस्तारित उत्पादक उत्तरदायित्व जैसे क्षेत्रों में वैज्ञानिक प्रमाणों पर आधारित निर्णयों की आवश्यकता है (Geiser, 2001; Wilson and Schwarzman, 2009)।

विषैले रसायनों का प्रबंधन सतत विकास की अवधारणा से भी प्रत्यक्ष रूप से संबंधित है। यदि उत्पादन और उपभोग की वर्तमान प्रणालियाँ रासायनिक दृष्टि से असुरक्षित बनी रहती हैं, तो स्वास्थ्य, जल गुणवत्ता, खाद्य सुरक्षा, स्वच्छ शहर, जिम्मेदार उपभोग, समुद्री जीवन और स्थलीय पारिस्थितिकी जैसे व्यापक विकास लक्ष्यों की प्राप्ति बाधित होगी। सुरक्षित रसायन-प्रबंधन, स्वच्छ प्रौद्योगिकी, कम-विषाक्त उत्पाद-डिज़ाइन और जिम्मेदार उपभोक्ता व्यवहार सतत विकास के आवश्यक घटक हैं। इस दृष्टि से यह अध्ययन सार्वजनिक स्वास्थ्य सुरक्षा, स्वच्छ पर्यावरण, जिम्मेदार उत्पादन-पद्धति और पर्यावरणीय न्याय के बीच अंतर्संबंधों को स्पष्ट करता है तथा यह रेखांकित करता है कि वैज्ञानिक अनुसंधान, उद्योग-नवाचार, नियामक हस्तक्षेप और सामाजिक जागरूकता के समन्वित प्रयासों के बिना रासायनिक जोखिमों को प्रभावी ढंग से कम नहीं किया जा सकता।

अतः दैनिक जीवन में विषैले रसायनों का प्रश्न केवल उत्पाद-सुरक्षा का मुद्दा नहीं है, बल्कि यह मानव-पर्यावरण संबंधों, औद्योगिक आधुनिकता, नियामक क्षमता, सामाजिक असमानता और सतत भविष्य की दिशा से जुड़ा हुआ एक जटिल वैश्विक विमर्श है। प्रस्तुत अध्ययन इसी जटिलता को समझने, प्रमुख रासायनिक जोखिमों की पहचान करने और सुरक्षित विकल्पों की दिशा में एक वैज्ञानिक तथा नीतिगत आधार प्रदान करने का प्रयास करता है।

2. दैनिक जीवन में विषैले रसायनों के प्रमुख स्रोत और वर्गीकरण

दैनिक जीवन में प्रयुक्त उपभोक्ता वस्तुएँ अनेक प्रकार के रासायनिक पदार्थों का स्रोत हैं, जिनका चयन प्रायः उत्पाद की कार्यक्षमता, स्थायित्व, सौंदर्य, लागत और बाजार-स्वीकार्यता के आधार पर किया जाता है। किन्तु इन पदार्थों में से अनेक ऐसे हैं जो उपयोग के दौरान या उत्पाद के जीवन-चक्र के विभिन्न चरणों में मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण के लिए जोखिम उत्पन्न कर सकते हैं। विषैले रसायनों का वर्गीकरण उनके उपयोग, रासायनिक प्रकृति, विषाक्तता, स्थायित्व, जैव-संचयन क्षमता तथा संपर्क-मार्गों के आधार पर किया जा सकता है। दैनिक जीवन में सर्वाधिक महत्वपूर्ण स्रोतों में प्लास्टिक और पैकेजिंग सामग्री, सौंदर्य प्रसाधन और व्यक्तिगत देखभाल उत्पाद, घरेलू सफाई एजेंट, कीटनाशक, जल-रोधी और नॉन-स्टिक उत्पाद, तथा इलेक्ट्रॉनिक उपकरण प्रमुख हैं। इन श्रेणियों में उपस्थित रसायन अक्सर अदृश्य रूप से हमारे परिवेश, आहार, त्वचा-संपर्क, श्वसन मार्ग और घरेलू धूल के माध्यम से मानव शरीर तक पहुँचते हैं (Geiser, 2001; Rudel et al., 2003; Jones-Otazo et al., 2005) ।

2.1 प्लास्टिक और पैकेजिंग सामग्री

आधुनिक उपभोक्ता समाज में प्लास्टिक सबसे व्यापक रूप से प्रयुक्त सामग्रियों में से एक है। खाद्य और पेय पदार्थों की पैकेजिंग, पानी की बोतलें, खाद्य भंडारण कंटेनर, चिकित्सा उपकरण, बच्चों के खिलौने, घरेलू उपयोग की वस्तुएँ और औद्योगिक पैकेजिंग—सभी में विभिन्न प्रकार के पॉलिमर प्रयुक्त होते हैं। प्लास्टिक की उपयोगिता उसकी हल्की

संरचना, कम लागत, बहुपयोगिता और टिकाऊपन में निहित है; किन्तु इसी के साथ इसमें प्रयुक्त सहायक रसायन एक महत्वपूर्ण चिंता का विषय हैं। इनमें विशेष रूप से बिस्फेनॉल-A (BPA) और फ्थैलेट्स प्रमुख हैं, जो प्लास्टिक उत्पादों की भौतिक विशेषताओं को नियंत्रित करने के लिए प्रयुक्त होते हैं, परंतु उत्पाद की पॉलिमर संरचना से पूर्णतः स्थायी रूप से बंधे नहीं रहते। परिणामस्वरूप, ये समय के साथ रिसाव, गर्मी, अम्लीय या क्षारीय माध्यम, बार-बार उपयोग, खरोंच और अपघटन की स्थिति में बाहर निकल सकते हैं (Vandenberg et al., 2007; Schecter et al., 2010; Guart et al., 2011) ।

2.1.1 बिस्फेनॉल-A (BPA): उपयोग और स्राव

बिस्फेनॉल-A एक औद्योगिक रसायन है जिसका उपयोग मुख्यतः पॉलीकार्बोनेट प्लास्टिक और एपॉक्सी रेज़िन के निर्माण में किया जाता रहा है। पॉलीकार्बोनेट प्लास्टिक का उपयोग पानी की बोतलों, पुनः प्रयोज्य खाद्य कंटेनरों, शिशु बोतलों, रसोई उपकरणों और कुछ चिकित्सा उत्पादों में हुआ है, जबकि एपॉक्सी रेज़िन खाद्य डिब्बों की भीतरी कोटिंग, पाइपों की लाइनिंग और थर्मल पेपर में प्रयुक्त होती है। BPA की प्रमुख विशेषता इसकी कठोरता और पारदर्शिता बढ़ाने की क्षमता है, जिससे यह प्लास्टिक उद्योग में अत्यंत लोकप्रिय हुआ। किंतु विभिन्न अध्ययनों ने संकेत दिया है कि BPA अंतःस्रावी व्यवधानकारी रसायन के रूप में कार्य कर सकता है और एस्ट्रोजेनिक गतिविधि प्रदर्शित करता है। भोजन और पेय पदार्थ BPA संपर्क का प्रमुख स्रोत माने जाते हैं, विशेषकर तब जब पॉलीकार्बोनेट कंटेनरों को गरम किया जाता है या धातु-डिब्बाबंद खाद्य पदार्थों की एपॉक्सी लाइनिंग से BPA निकलता है (Vandenberg et al., 2007; Rubin, 2011; Rochester, 2013) ।

BPA का स्राव तापमान, pH, भंडारण अवधि और कंटेनर की आयु पर निर्भर करता है। माइक्रोवेव में प्लास्टिक कंटेनरों का उपयोग, गर्म तरल पदार्थों का भंडारण, तथा बार-बार धुलाई या क्षति से BPA के निकलने की संभावना बढ़ सकती है। यह रसायन जल स्रोतों, अपशिष्ट जल और तलछट में भी पाया गया है, जो यह दर्शाता है कि इसका प्रभाव केवल उपभोक्ता स्तर तक सीमित नहीं है। जैव-निगरानी अध्ययनों में मानव मूत्र और रक्त नमूनों में BPA की उपस्थिति सामान्य जनसंख्या में व्यापक संपर्क को दर्शाती है (Calafat et al., 2008; Vandenberg et al., 2010)।

2.1.2 फ्थैलेट्स (Phthalates): उपयोग और स्राव

फ्थैलेट्स ऐसे रसायनों का समूह है जिनका उपयोग मुख्यतः पॉलीविनाइल क्लोराइड (PVC) और अन्य प्लास्टिकों को लचीला, मुलायम और टिकाऊ बनाने के लिए किया जाता है। ये खिलौनों, विनाइल फर्श, शॉवर कर्टेन, खाद्य पैकेजिंग, चिकित्सा ट्यूबिंग, तारों की कोटिंग, कॉस्मेटिक्स, सुगंधित उत्पादों और कुछ व्यक्तिगत देखभाल उत्पादों में पाए जा सकते हैं। चूँकि फ्थैलेट्स प्लास्टिक मैट्रिक्स से रासायनिक रूप से स्थायी रूप से बंधे नहीं होते, अतः वे आसानी से वाष्पित होकर, घिसाव के माध्यम से या भोजन, धूल और हवा में स्थानांतरित होकर मानव संपर्क का कारण बनते हैं। घरेलू धूल, इनडोर वायु और भोजन इनका प्रमुख संपर्क माध्यम हैं (Rudel et al., 2003; Sathyanarayana, 2008; Schettler, 2006)।

कई फ्थैलेट्स, विशेषकर DEHP, DBP और BBP, प्रजनन-विषैले तथा अंतःस्रावी व्यवधानकारी प्रभावों से जुड़े पाए गए हैं। शिशु और बच्चे खिलौनों, फर्श पर बिताए समय और हाथ-मुँह व्यवहार के कारण अधिक जोखिम में हो सकते हैं। खाद्य पैकेजिंग से वसायुक्त पदार्थों में इनका स्थानांतरण भी एक महत्वपूर्ण मुद्दा है। इस प्रकार, प्लास्टिक और पैकेजिंग सामग्री केवल ठोस अपशिष्ट का नहीं, बल्कि लगातार रासायनिक संपर्क का भी स्रोत है (Koch and Calafat, 2009; Meeker et al., 2009)।

2.2 सौंदर्य प्रसाधन और व्यक्तिगत देखभाल उत्पाद

सौंदर्य प्रसाधन और व्यक्तिगत देखभाल उत्पाद जैसे शैम्पू, साबुन, मॉइस्चराइज़र, लोशन, डियोडरेंट, परफ्यूम, नेल पॉलिश, हेयर स्प्रे, टूथपेस्ट और मेकअप उत्पाद प्रतिदिन सीधे त्वचा, बाल, मुख और श्वसन मार्ग के संपर्क में आते हैं। इन उत्पादों में परिरक्षक, जीवाणुरोधी पदार्थ, विलायक, सुगंध-रसायन, रंग और स्थिरकारक के रूप में अनेक

संश्लेषित रसायन प्रयुक्त होते हैं। यद्यपि इनका उद्देश्य उत्पाद की शेल्फ-लाइफ, रोगाणु नियंत्रण, सुगंध स्थायित्व और उपभोक्ता आकर्षण बढ़ाना होता है, किन्तु इनके कई घटकों के दीर्घकालिक स्वास्थ्य प्रभावों को लेकर चिंता व्यक्त की गई है (Dodson et al., 2012; Wormuth et al., 2006)।

2.2.1 पैराबेन्स (Parabens)

पैराबेन्स एक व्यापक रूप से प्रयुक्त परिरक्षक वर्ग है, जिनका उपयोग कॉस्मेटिक्स, लोशन, क्रीम, डियोडरेंट, शैम्पू, शेविंग उत्पादों और औषधीय तैयारियों में सूक्ष्मजीवों की वृद्धि रोकने के लिए किया जाता है। मिथाइलपैराबेन, एथाइलपैराबेन, प्रोपाइलपैराबेन और ब्यूटाइलपैराबेन इसके सामान्य रूप हैं। पैराबेन्स त्वचा के माध्यम से अवशोषित हो सकते हैं और मानव जैव-नमूनों में इनकी उपस्थिति दर्ज की गई है। कुछ अध्ययनों ने इनके हल्के एस्ट्रोजेनिक प्रभावों की ओर संकेत किया है, जिसके कारण इनके संभावित अंतःस्रावी व्यवधानकारी प्रभावों पर चर्चा हुई है, विशेषकर दीर्घकालिक और मिश्रित संपर्क की परिस्थितियों में (Darbre and Harvey, 2008; Boberg et al., 2010)।

2.2.2 ट्राइक्लोसन

ट्राइक्लोसन एक जीवाणुरोधी और फफूंदरोधी रसायन है, जिसका उपयोग साबुन, टूथपेस्ट, डियोडरेंट, हैंडवॉश, प्लास्टिक सतहों, खिलौनों और कुछ वस्त्र उत्पादों में किया गया। प्रारंभिक रूप से इसे स्वच्छता और रोगाणु नियंत्रण के लिए लाभकारी माना गया, लेकिन बाद के अध्ययनों में इसके पर्यावरणीय स्थायित्व, जल निकायों में उपस्थिति, क्लोरीनयुक्त उप-उत्पादों के निर्माण, सूक्ष्मजीवी प्रतिरोध और संभावित अंतःस्रावी प्रभावों को लेकर चिंता बढ़ी। अपशिष्ट जल शोधन संयंत्रों से ट्राइक्लोसन का पूर्ण निष्कासन नहीं हो पाता, जिसके कारण यह नदियों और तलछट में पहुँच सकता है (Dann and Hontela, 2011; Halden and Paull, 2005)।

2.2.3 सिंथेटिक सुगंध

व्यक्तिगत देखभाल उत्पादों में प्रयुक्त सिंथेटिक सुगंध (synthetic fragrances) जटिल रासायनिक मिश्रण होते हैं, जिनमें दर्जनों से सैकड़ों घटक शामिल हो सकते हैं। "फ्रेगरेंस" या "परफ्यूम" के नाम से सूचीबद्ध ये मिश्रण कई बार उत्पाद लेबल पर पूर्ण रूप से प्रकट नहीं किए जाते। इनमें फ्थैलेट्स, सिंथेटिक मस्क यौगिक, एलर्जेनिक वाष्पशील कार्बनिक यौगिक और अन्य जैव-सक्रिय पदार्थ हो सकते हैं। ये पदार्थ त्वचा और श्वसन दोनों मार्गों से शरीर में प्रवेश कर सकते हैं तथा कुछ मामलों में एलर्जी, सिरदर्द, त्वचा-उत्तेजना और अंतःस्रावी प्रभावों से जोड़े गए हैं (Steinemann, 2009; Bickers et al., 2003)।

2.3 घरेलू सफाई एजेंट और कीटनाशक

घरेलू सफाई एजेंट आधुनिक घरों में स्वच्छता और रोगाणु नियंत्रण के लिए व्यापक रूप से उपयोग किए जाते हैं। फर्श क्लीनर, ग्लास क्लीनर, डिटर्जेंट, डिग्रीज़र, टॉयलेट क्लीनर, बाथरूम डिसइन्फेक्टेंट, एयर फ्रेशनर और मल्टी-सर्फेस क्लीनर में अनेक प्रकार के रासायनिक घटक होते हैं, जिनमें वाष्पशील कार्बनिक यौगिक (VOCs), अमोनिया, क्लोरीन-आधारित यौगिक, फॉस्फेट, सर्फेक्टेंट और सुगंधित यौगिक प्रमुख हैं। इन उत्पादों के प्रयोग से इनडोर वायु गुणवत्ता प्रभावित हो सकती है और त्वचा, श्वसन तंत्र तथा आँखों पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ सकता है (Nazaroff and Weschler, 2004; Singer et al., 2006)।

2.3.1 वाष्पशील कार्बनिक यौगिक (VOCs)

VOCs एक व्यापक श्रेणी है जिसमें ऐसे कार्बनिक पदार्थ शामिल हैं जो सामान्य तापमान पर आसानी से वाष्पित होकर वायु में मिल जाते हैं। घरेलू क्लीनर, पेंट, पॉलिश, एयर फ्रेशनर, सुगंधित उत्पाद, कीटनाशक स्प्रे और एरोसोल आधारित उत्पाद VOCs के प्रमुख स्रोत हैं। बेंजीन, टोल्यून, ज़ाइलीन, फॉर्मल्डिहाइड, लिमोनीन और अन्य टर्पीन-आधारित यौगिक घरेलू वातावरण में पाए जा सकते हैं। ये पदार्थ सिरदर्द, चक्कर, आँख और श्वसन-पथ में जलन, एलर्जी तथा दीर्घकालिक संपर्क में तंत्रिका और यकृत संबंधी प्रभाव उत्पन्न कर सकते हैं। कुछ VOCs, विशेषकर

इनडोर ऑक्सीडेंट्स के साथ प्रतिक्रिया कर, द्वितीयक प्रदूषक भी बना सकते हैं (Weschler, 2009; Wolkoff et al., 1998)।

2.3.2 फॉस्फेट और अमोनिया आधारित उत्पाद

फॉस्फेट का उपयोग डिटर्जेंट और सफाई उत्पादों में जल को मुलायम बनाने तथा सफाई क्षमता बढ़ाने के लिए किया गया है। घरेलू अपशिष्ट जल के माध्यम से जब ये जलाशयों में पहुँचते हैं, तो पोषक तत्वों की अधिकता के कारण यूट्रोफिकेशन की समस्या उत्पन्न हो सकती है, जिससे शैवाल-वृद्धि, घुलित ऑक्सीजन की कमी और जलीय जैवविविधता पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है (Correll, 1998)। अमोनिया-आधारित सफाई उत्पाद काँच और कठोर सतहों की सफाई में उपयोगी माने जाते हैं, किंतु इनकी वाष्प श्वसन तंत्र में जलन पैदा कर सकती है। क्लोरीनयुक्त उत्पादों के साथ मिलाने पर विषैली गैसें बनने का जोखिम भी रहता है।

2.3.3 कीटनाशक

घरेलू कीटनाशक, मच्छर-रोधी स्प्रे, कॉइल, बागवानी के रसायन, दीमकनाशक और कीट-नियंत्रण एजेंट भी महत्वपूर्ण रासायनिक स्रोत हैं। इन उत्पादों में ऑर्गेनोफॉस्फेट, पाइरेथ्रॉइड, कार्बामेट, क्लोरीनयुक्त यौगिक और सॉल्वेंट आधारित संरचनाएँ हो सकती हैं। इनके संपर्क से तंत्रिका-विषाक्त प्रभाव, श्वसन संबंधी समस्याएँ, त्वचा-उत्तेजना और दीर्घकालिक स्वास्थ्य जोखिम जुड़ सकते हैं। बच्चों और पालतू जानवरों में घरेलू कीटनाशकों के प्रति संवेदनशीलता अधिक हो सकती है (Whyatt et al., 2002; Eskenazi et al., 2008) ।

2.4 नॉन-स्टिक बर्तन, जल-रोधी कपड़े और खाद्य पैकेजिंग

आधुनिक उपभोक्ता उत्पादों में जल, तेल और दाग प्रतिरोध प्रदान करने के लिए जिस रासायनिक वर्ग का व्यापक उपयोग हुआ है, वह पर- और पॉलीफ्लोरोएल्काइल पदार्थ (PFAS) है। ये रसायन नॉन-स्टिक कुकवेयर, जल-रोधी और दागरोधी वस्त्र, फूड-रैपर्स, फास्ट-फूड पैकेजिंग, अग्निशमन फोम, कालीन और औद्योगिक कोटिंग्स में प्रयुक्त होते रहे हैं। कार्बन-फ्लोरीन बंध की अत्यधिक मजबूती के कारण ये पदार्थ पर्यावरण में बहुत धीमे अपघटित होते हैं, इसलिए इन्हें प्रायः “फॉरएवर केमिकल्स” कहा जाता है (Giesy and Kannan, 2002; Lau et al., 2007)।

PFAS का महत्त्वपूर्ण वर्ग PFOA और PFOS जैसे यौगिकों को शामिल करता है, जिनका उपयोग नॉन-स्टिक सतहों और विभिन्न प्रतिरोधी कोटिंग्स में किया जाता रहा है। ये पदार्थ निर्माण-स्थलों, अपशिष्ट जल, औद्योगिक उत्सर्जन, दूषित पेयजल, खाद्य पैकेजिंग और घरेलू धूल के माध्यम से मानव संपर्क का कारण बन सकते हैं। अनेक अध्ययनों में PFAS का संबंध यकृत-प्रभाव, प्रतिरक्षा-तंत्र में परिवर्तन, लिपिड-चयापचय गड़बड़ी, थायरॉइड व्यवधान और विकासात्मक प्रभावों से जोड़ा गया है। विशेष चिंता का विषय यह है कि ये यौगिक पर्यावरण में व्यापक रूप से पाए जाते हैं और मानव रक्त सीरम में भी उनकी उपस्थिति दर्ज की गई है (Houde et al., 2006; Steenland et al., 2010; Post et al., 2012)।

नॉन-स्टिक बर्तनों को अत्यधिक तापमान पर गर्म करने से फ्लोरोपॉलिमर कोटिंग के अपघटन की आशंका व्यक्त की गई है, जबकि खाद्य पैकेजिंग में प्रयुक्त PFAS भोजन में प्रवास कर सकते हैं। जल-रोधी और दागरोधी वस्त्रों से धुलाई के दौरान PFAS युक्त अवशेष जल निकायों में पहुँच सकते हैं। इस प्रकार PFAS उपभोक्ता उत्पादों और पर्यावरणीय प्रदूषण के बीच एक सेतु का कार्य करते हैं।

2.5 इलेक्ट्रॉनिक उपकरण (E-waste)

इलेक्ट्रॉनिक उपकरण आधुनिक जीवन का अपरिहार्य अंग हैं, किंतु उनका उत्पादन, उपयोग और निपटान विषैले रसायनों और धातुओं के महत्वपूर्ण स्रोत हैं। कंप्यूटर, मोबाइल फोन, टेलीविजन, प्रिंटर, बैटरियाँ, केबल, सर्किट बोर्ड, रेफ्रिजरेटर, माइक्रोवेव और अन्य विद्युत-इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में भारी धातुएँ, ब्रोमिनेटेड फ्लेम रिटार्डेंट्स, PVC, सॉल्वेंट अवशेष और अन्य विषैले पदार्थ उपस्थित हो सकते हैं। जब ये उपकरण ई-कचरे में परिवर्तित होते हैं और

उनका अनुचित पुनर्चक्रण, खुला दहन, अम्लीय लीचिंग या खुले में विघटन किया जाता है, तब विषैले पदार्थ पर्यावरण में गंभीर रूप से मुक्त होते हैं (Widmer et al., 2005; Robinson, 2009)।

2.5.1 भारी धातुएँ: सीसा, पारा और कैडमियम

सीसा का उपयोग सोल्डर, कैथोड रे ट्यूब, बैटरियों और कुछ इलेक्ट्रॉनिक घटकों में किया गया है। यह एक शक्तिशाली तंत्रिका-विष है, विशेषकर बच्चों में मस्तिष्क विकास पर प्रतिकूल प्रभाव डाल सकता है। पारा स्विच, फ्लोरोसेंट लैंप, डिस्प्ले और कुछ चिकित्सा व इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में पाया जाता है तथा यह तंत्रिका तंत्र और गुर्दों के लिए हानिकारक है। कैडमियम रिचार्जेबल बैटरियों, सेमीकंडक्टर, रेसिस्टर और कुछ कोटिंग्स में प्रयुक्त होता है और इसे गुर्दा-विषाक्त तथा संभावित कैंसरकारी माना गया है (Tchounwou et al., 2012; Grant et al., 2013) ।
ई-कचरे के अनौपचारिक प्रबंधन क्षेत्रों में ये धातुएँ मिट्टी, धूल, वायु और जल में पहुँचकर स्थानीय समुदायों के लिए गंभीर जोखिम उत्पन्न करती हैं। खुला दहन या अम्लीय निष्कर्षण के दौरान इनके संपर्क की तीव्रता बहुत अधिक हो सकती है। फलतः ई-कचरा केवल ठोस कचरे की समस्या नहीं, बल्कि विषैले धातु-प्रदूषण का स्रोत भी है।

2.5.2 ब्रोमिनेटेड फ्लेम रिटार्डेंट्स

ब्रोमिनेटेड फ्लेम रिटार्डेंट्स (BFRs), विशेष रूप से पॉलीब्रोमिनेटेड डाइफिनाइल ईथर्स (PBDEs), का उपयोग इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों, फर्नीचर फोम, प्लास्टिक कवरिंग और वस्त्रों में अग्निरोधकता बढ़ाने के लिए किया गया। ये पदार्थ उत्पादों से धीरे-धीरे निकलकर घरेलू धूल और इनडोर वातावरण में जमा हो सकते हैं। इनका संबंध अंतःस्रावी व्यवधान, थायरॉइड हार्मोन असंतुलन, न्यूरोविकासीय प्रभाव और पर्यावरणीय स्थायित्व से जोड़ा गया है (de Wit, 2002; Sjödin et al., 2008)। चूँकि ये भी कई बार उत्पाद मैट्रिक्स से दृढ़ता से बंधे नहीं होते, इसलिए उपयोग और अपशिष्ट दोनों अवस्थाओं में इनका उत्सर्जन संभव है।

2.6 वर्गीकरण का समेकित दृष्टिकोण

दैनिक जीवन में पाए जाने वाले विषैले रसायनों को केवल उनके उपयोग के आधार पर नहीं, बल्कि उनके जोखिम-प्रोफ़ाइल के आधार पर भी वर्गीकृत किया जा सकता है। कुछ रसायन अंतःस्रावी व्यवधानकारी हैं, जैसे BPA, फ्थैलेट्स, पैराबेन्स और ट्राइक्लोसन; कुछ स्थायी और जैव-संचयी हैं, जैसे PFAS और PBDEs; कुछ वाष्पशील और श्वसन-जोखिमकारी हैं, जैसे VOCs और अमोनिया; जबकि कुछ तंत्रिका-विषैले और धात्विक प्रदूषक हैं, जैसे सीसा, पारा और कैडमियम। कई उत्पादों में इन श्रेणियों का ओवरलैप भी पाया जाता है, जिससे वास्तविक संपर्क मिश्रित और जटिल हो जाता है (Kortenkamp, 2007; Carpenter et al., 2002)। इसलिए जोखिम का मूल्यांकन किसी एक रसायन तक सीमित न होकर बहु-रसायनिक संपर्क, संचयी प्रभाव और जीवन-चक्र दृष्टिकोण पर आधारित होना चाहिए।

उपरोक्त विश्लेषण से स्पष्ट है कि दैनिक जीवन में प्रयुक्त उपभोक्ता वस्तुएँ केवल सुविधा और कार्यकुशलता के साधन नहीं हैं, बल्कि वे विषैले रसायनों के निरंतर और बहुआयामी स्रोत भी हो सकती हैं। प्लास्टिक, प्रसाधन, सफाई एजेंट, कीटनाशक, नॉन-स्टिक और जलरोधी उत्पाद तथा इलेक्ट्रॉनिक उपकरण—सभी रासायनिक जोखिम के ऐसे मार्ग निर्मित करते हैं जो व्यक्ति, परिवार, समुदाय और पर्यावरण को एक साथ प्रभावित करते हैं। अतः इन स्रोतों की पहचान, वर्गीकरण और उनके जोखिम-प्रोफ़ाइल की वैज्ञानिक समझ सुरक्षित विकल्पों के विकास, उपभोक्ता जागरूकता और प्रभावी नीति-निर्माण के लिए अनिवार्य है।

3. पर्यावरणीय परिवहन और अपघटन-व्यवहार

दैनिक जीवन में प्रयुक्त विषैले रसायनों का पर्यावरणीय प्रभाव केवल उनके प्रत्यक्ष उपयोग तक सीमित नहीं रहता, बल्कि उनके उत्पादन, उपयोग, भंडारण, परिवहन, अपशिष्ट प्रबंधन और अंतिम निपटान की पूरी श्रृंखला में वे विभिन्न पर्यावरणीय माध्यमों में प्रवेश करते हैं। किसी रसायन का पर्यावरणीय भाग्य इस बात पर निर्भर करता है कि वह कितनी आसानी से वाष्पित होता है, जल में कितना घुलनशील है, मृदा या तलछट से कितना बंधता है, जैविक ऊतकों

में कितना जमा होता है, और प्राकृतिक प्रक्रियाओं द्वारा उसका अपघटन कितनी तेजी से होता है। इसलिए विषैले रसायनों की समस्या को समझने के लिए यह जानना आवश्यक है कि वे पर्यावरण में किन मार्गों से प्रवेश करते हैं, किस प्रकार विभिन्न माध्यमों में फैलते हैं, कितने समय तक बने रहते हैं, और किन परिस्थितियों में जीवित तंत्रों में संचित होकर अधिक गंभीर जोखिम उत्पन्न करते हैं।

3.1 पर्यावरण में प्रवेश के प्रमुख मार्ग

दैनिक उपयोग के रसायनों के पर्यावरण में प्रवेश के अनेक मार्ग हैं, जिनमें घरेलू अपशिष्ट जल, लैंडफिल स्राव, वाष्पीकरण, औद्योगिक निकास, सतही बहाव, ई-कचरे का अनुचित प्रबंधन, तथा उत्पादों का घिसाव और टूट-फूट प्रमुख हैं। घरेलू स्तर पर उपयोग किए जाने वाले डिटर्जेंट, शैम्पू, कॉस्मेटिक्स, हैंडवॉश, क्लीनर, कीटनाशक और औषधीय यौगिक धुलाई अथवा फ्लशिंग के माध्यम से अपशिष्ट जल में प्रवेश करते हैं। अपशिष्ट जल शोधन संयंत्र अनेक प्रदूषकों को आंशिक रूप से हटाने में सक्षम होते हैं, किन्तु सभी उभरते रसायनों, अंतःस्रावी व्यवधानकारियों, सूक्ष्म-प्लास्टिक कणों, PFAS, ट्राइक्लोसन, पैराबेन्स अथवा फ्थैलेट्स को पूर्णतः हटाना संभव नहीं होता। परिणामस्वरूप, उपचारित जल, स्लज या तलछट के माध्यम से ये पदार्थ नदियों, झीलों, कृषि भूमि और भूजल प्रणालियों तक पहुँच सकते हैं। लैंडफिल भी विषैले रसायनों के एक महत्त्वपूर्ण स्रोत हैं। प्लास्टिक, पैकेजिंग सामग्री, सौंदर्य प्रसाधन, इलेक्ट्रॉनिक उपकरण और मिश्रित नगरपालिका ठोस अपशिष्ट जब लैंडफिल में डाले जाते हैं, तब समय के साथ उनमें उपस्थित रसायन रिसकर लीचेट के रूप में बाहर आ सकते हैं। यदि लैंडफिल लाइनिंग, संग्रहण और उपचार प्रणालियाँ प्रभावी न हों, तो यह लीचेट भूजल और आसपास की मृदा को प्रदूषित कर सकता है। ई-कचरे में उपस्थित भारी धातुएँ, ज्वाला-रोधी रसायन, PVC और अन्य स्थायी रसायन विशेष रूप से इस संदर्भ में चिंताजनक हैं।

वाष्पीकरण एक अन्य महत्त्वपूर्ण मार्ग है, विशेषकर उन रसायनों के लिए जो वाष्पशील या अर्ध-वाष्पशील होते हैं। घरेलू क्लीनर, एयर फ्रेशनर, पेंट, पॉलिश, सुगंधित उत्पाद, प्लास्टिक सामग्री, फर्नीचर और इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों से वाष्पशील कार्बनिक यौगिक तथा अर्ध-वाष्पशील कार्बनिक यौगिक निरंतर इनडोर और आउटडोर वायु में उत्सर्जित हो सकते हैं। इसी प्रकार औद्योगिक निकास, निर्माण-स्थल, रसायन उत्पादन इकाइयाँ, प्लास्टिक उद्योग, वस्त्र-प्रसंस्करण और धातु पुनर्चक्रण गतिविधियाँ भी पर्यावरण में विषैले रसायनों के बड़े स्रोत हैं। इन मार्गों के माध्यम से रसायन स्थानीय क्षेत्र से निकलकर क्षेत्रीय और कभी-कभी वैश्विक स्तर तक फैल सकते हैं।

3.2 वायु, जल और मृदा प्रदूषण: विभिन्न पर्यावरणीय घटकों में फैलाव

किसी रसायन का पर्यावरण में फैलाव उसकी भौतिक-रासायनिक विशेषताओं पर निर्भर करता है। वाष्पशील रसायन वायु में तेजी से फैलते हैं और इनडोर तथा आउटडोर दोनों वातावरण को प्रभावित कर सकते हैं। इनडोर वायु में उत्पन्न रासायनिक प्रदूषण विशेष चिंता का विषय है क्योंकि अधिकांश लोग दिन का बड़ा भाग घर, कार्यालय, विद्यालय या अन्य बंद स्थानों में बिताते हैं। VOCs, सुगंधित यौगिक, सॉल्वेंट, प्लास्टिसाइज़र और अग्निरोधक रसायन हवा में मौजूद रहकर श्वसन संपर्क का कारण बनते हैं। कुछ रसायन धूल कणों से बंधकर इनडोर सतहों पर जमते हैं, जहाँ से वे पुनः वायु में निलंबित होकर या हाथ-मुँह व्यवहार के माध्यम से शरीर में प्रवेश कर सकते हैं। जल प्रदूषण के संदर्भ में घरेलू अपशिष्ट, औद्योगिक अपशिष्ट, कृषि बहाव, लैंडफिल लीचेट और शहरी बहाव प्रमुख माध्यम हैं। जल में घुलनशील या आंशिक रूप से घुलनशील रसायन नदियों, झीलों, आर्द्रभूमियों, भूजल और समुद्री प्रणालियों में पहुँच सकते हैं। कुछ रसायन तलछट में अवशोषित हो जाते हैं, जहाँ वे लंबे समय तक बने रह सकते हैं और धीरे-धीरे पुनः जल में मुक्त हो सकते हैं। इस प्रकार जल निकाय केवल प्रदूषक के परिवहन का माध्यम नहीं, बल्कि उसका अस्थायी या दीर्घकालिक भंडार भी बन जाते हैं। जलीय जीव इन रसायनों को सीधे जल से, तलछट से या भोजन के माध्यम से ग्रहण करते हैं।
मृदा प्रदूषण भी विषैले रसायनों के पर्यावरणीय भाग्य का एक प्रमुख पहलू है। सीवेज स्लज का कृषि भूमि में उपयोग, लैंडफिल रिसाव, कीटनाशकों का छिड़काव, ई-कचरे का खुला निपटान, प्लास्टिक कचरे का विघटन, और वायुमंडलीय अवक्षेपण मृदा में रासायनिक संचय को बढ़ाते हैं। मृदा में प्रवेश करने वाले रसायन विभिन्न प्रकार से व्यवहार कर सकते हैं—कुछ कार्बनिक पदार्थों से बंध जाते हैं, कुछ भूजल में रिसते हैं, कुछ पौधों की जड़ों द्वारा

अवशोषित होते हैं, और कुछ मृदा जीवों के माध्यम से खाद्य जाल में प्रवेश करते हैं। इसलिए मृदा प्रदूषण को केवल स्थानीय समस्या नहीं माना जा सकता; यह खाद्य सुरक्षा, जल गुणवत्ता और पारिस्थितिक संतुलन से भी सीधा जुड़ा हुआ है।

3.3 पर्यावरणीय व्यवहार: परिवहन, रूपांतरण और विभाजन

पर्यावरण में पहुँचने के बाद रसायनों का व्यवहार अनेक प्रक्रियाओं से नियंत्रित होता है, जैसे वाष्पीकरण, अवशोषण, अवक्षेपण, अपवाह, प्रसरण, रासायनिक रूपांतरण, प्रकाश-अपघटन, जल-अपघटन, जैव-अपघटन तथा तलछटीकरण। कुछ रसायन तेजी से वायु में चले जाते हैं और फिर वर्षा, धूल या सूक्ष्म कणों के माध्यम से पुनः भूमि या जल पर लौटते हैं। कुछ जल में परिवहनित होकर लंबी दूरी तय करते हैं, जबकि कुछ मृदा या तलछट में दृढ़ता से बंधकर स्थानीय रूप से जमा हो जाते हैं। इस प्रक्रिया को पर्यावरणीय विभाजन कहा जा सकता है, जिसके कारण एक ही रसायन एक साथ कई माध्यमों में विभिन्न रूपों और सांद्रताओं में उपस्थित हो सकता है।

रसायनों का रूपांतरण भी अत्यंत महत्त्वपूर्ण है क्योंकि मूल यौगिक कभी-कभी अपघटित होकर ऐसे उत्पाद बना सकते हैं जो स्वयं अधिक विषैले, अधिक गतिशील या अधिक स्थायी हों। उदाहरण के लिए, कुछ कार्बनिक यौगिक प्रकाश या ऑक्सीकरण के प्रभाव में नए उप-उत्पादों में बदलते हैं। इसी प्रकार कुछ धातुएँ पर्यावरणीय परिस्थितियों के अनुसार विभिन्न ऑक्सीकरण अवस्थाओं में आकर उनकी उपलब्धता और विषाक्तता बदल सकती है। अतः केवल मूल रसायन की उपस्थिति का अध्ययन पर्याप्त नहीं है; उसके अपघटन-उत्पादों और रूपांतरण मार्गों को भी समझना आवश्यक है।

3.4 स्थायित्व और जैव-संचयन

विषैले रसायनों के पर्यावरणीय जोखिम का सबसे गंभीर पक्ष उनका स्थायित्व है। स्थायी रसायन वे हैं जो प्राकृतिक परिस्थितियों में लंबे समय तक अपघटित नहीं होते या बहुत धीमी गति से टूटते हैं। यदि कोई रसायन स्थायी होने के साथ-साथ जैविक ऊतकों में जमा होने की क्षमता भी रखता है, तो उसका जोखिम कई गुना बढ़ जाता है। ऐसे रसायन बार-बार संपर्क के बिना भी पर्यावरण में बने रहते हैं और जीवों के शरीर में समय के साथ एकत्रित होते जाते हैं।

जैव-संचयन वह प्रक्रिया है जिसमें जीव अपने वातावरण—जल, भोजन, वायु या मृदा—से किसी रसायन को ग्रहण कर उसे शरीर में उस दर से अधिक मात्रा में संचित करता है जितनी तेजी से वह बाहर निकल सकता है। वसा-घुलनशील, स्थायी और चयापचय-प्रतिरोधी रसायन प्रायः जैव-संचयन प्रदर्शित करते हैं। ऐसे रसायन मछलियों, पक्षियों, स्तनधारियों और अंततः मनुष्यों के ऊतकों में जमा हो सकते हैं। यदि ये पदार्थ अंतःस्रावी व्यवधानकारी, तंत्रिका-विषैले या प्रतिरक्षा-प्रभावकारी हों, तो कम सांद्रता में भी दीर्घकालिक जैविक प्रभाव संभव हैं।

3.5 खाद्य श्रृंखला में प्रवेश और जैव-आवर्धन

पर्यावरण में उपस्थित विषैले रसायन खाद्य श्रृंखला के माध्यम से एक स्तर से दूसरे स्तर तक पहुँचते हैं। जलीय पारिस्थितिक तंत्र में यह प्रक्रिया विशेष रूप से स्पष्ट होती है। जल या तलछट में उपस्थित रसायन पहले शैवाल, प्लवक, सूक्ष्मजीव या छोटे अकशेरुकी जीवों में प्रवेश करते हैं। इन्हें खाने वाली छोटी मछलियाँ रसायनों को अधिक मात्रा में ग्रहण करती हैं, और फिर बड़ी शिकारी मछलियाँ उनसे भी अधिक सांद्रता में इन पदार्थों को संचित कर लेती हैं। जब मनुष्य या अन्य उच्च स्तरीय जीव इन मछलियों का सेवन करते हैं, तो रसायन उनके शरीर में भी प्रवेश कर जाते हैं। इस प्रक्रिया को जैव-आवर्धन कहा जाता है, जिसमें खाद्य श्रृंखला के ऊपरी स्तरों पर रसायन की सांद्रता बढ़ती जाती है।

स्थलीय पारिस्थितिक तंत्रों में भी यही प्रक्रिया मृदा, पौधों, कीटों, पशुओं और मनुष्यों के बीच घटित हो सकती है। प्रदूषित मृदा से पौधों द्वारा अवशोषित रसायन पशु-आहार और मानव-आहार का हिस्सा बन सकते हैं। धूल या चारा के माध्यम से पशुधन के शरीर में पहुँचने वाले कुछ रसायन दूध, मांस और अन्य खाद्य उत्पादों में भी पाए जा सकते हैं। इस प्रकार, खाद्य सुरक्षा और रासायनिक प्रदूषण एक-दूसरे से घनिष्ठ रूप से जुड़े हुए हैं।

3.6 सूक्ष्मजीवों द्वारा अपघटन का प्रतिरोध

पर्यावरणीय स्वशोधन की एक महत्त्वपूर्ण प्रक्रिया जैव-अपघटन है, जिसमें सूक्ष्मजीव रासायनिक यौगिकों को तोड़कर सरल पदार्थों में बदल देते हैं। किन्तु सभी रसायन समान रूप से जैव-अपघट्य नहीं होते। कुछ संश्लेषित रसायनों की आणविक संरचना इतनी स्थिर या जटिल होती है कि सामान्य सूक्ष्मजीव उन्हें आसानी से विघटित नहीं कर पाते। यही कारण है कि कई आधुनिक औद्योगिक रसायन पर्यावरण में लंबे समय तक बने रहते हैं।
PFAS इस संदर्भ में अत्यंत उल्लेखनीय हैं। कार्बन-फ्लोरीन बंध की अत्यधिक मजबूती के कारण ये प्राकृतिक जैव-अपघटन, तापीय विघटन और सामान्य रासायनिक प्रक्रियाओं के प्रति अत्यधिक प्रतिरोधी होते हैं। यही कारण है कि इन्हें "फॉरएवर केमिकल्स" कहा जाता है। एक बार पर्यावरण में पहुँच जाने के बाद इनका निष्कासन या विघटन अत्यंत कठिन हो जाता है, और वे जल, मृदा तथा जैविक प्रणालियों में लंबे समय तक बने रह सकते हैं। माइक्रोप्लास्टिक भी इसी प्रकार एक उभरती हुई चुनौती हैं। बड़े प्लास्टिक पदार्थ समय के साथ भौतिक टूट-फूट, धूप, ताप, घर्षण और यांत्रिक बलों के कारण छोटे-छोटे कणों में टूट जाते हैं, परंतु ये पूर्ण जैव-अपघटन के बजाय केवल सूक्ष्म आकार में परिवर्तित होते हैं। अनेक प्रकार के माइक्रोप्लास्टिक पर्यावरण में लंबे समय तक बने रहते हैं और अपने साथ अन्य विषैले रसायनों को अवशोषित या वहन भी कर सकते हैं। सूक्ष्मजीवों के लिए इनका पूर्ण विघटन सीमित होता है, विशेषकर तब जब वे बहुलक संरचना, योजकों और सतही गुणों के कारण जैविक आक्रमण के प्रति प्रतिरोधी हों। परिणामस्वरूप, माइक्रोप्लास्टिक न केवल स्वयं प्रदूषक हैं, बल्कि अन्य प्रदूषकों के वाहक के रूप में भी कार्य कर सकते हैं।

3.7 समेकित विश्लेषण

विषैले रसायनों का पर्यावरणीय परिवहन और भाग्य बहु-कारक, बहु-माध्यम और बहु-स्तरीय प्रक्रिया है। घरेलू उपयोग से शुरू होकर ये रसायन अपशिष्ट जल, वायु, धूल, लैंडफिल, मिट्टी, तलछट और खाद्य जाल तक पहुँचते हैं। उनकी गतिशीलता, स्थायित्व, जैव-संचयन और अपघटन-प्रतिरोध इस बात को निर्धारित करते हैं कि वे अल्पकालिक स्थानीय जोखिम उत्पन्न करेंगे या दीर्घकालिक वैश्विक प्रदूषण समस्या का रूप लेंगे। यह समझना आवश्यक है कि किसी रसायन का उपयोग-स्थल ही उसका प्रभाव-क्षेत्र नहीं होता; उसके पर्यावरणीय व्यवहार के कारण उसका प्रभाव भौगोलिक, कालिक और जैविक दृष्टि से कहीं अधिक व्यापक हो सकता है। यही कारण है कि रासायनिक जोखिम मूल्यांकन में केवल तात्कालिक विषाक्तता नहीं, बल्कि पर्यावरणीय स्थायित्व, परिवहन क्षमता, जैव-संचयन और खाद्य श्रृंखला-आधारित जोखिमों का समावेश आवश्यक है।

4. पारिस्थितिक और स्वास्थ्य प्रभाव

दैनिक जीवन में प्रयुक्त विषैले रसायनों के प्रभाव केवल पर्यावरण में उनकी उपस्थिति तक सीमित नहीं रहते, बल्कि वे जीवित तंत्रों की संरचना, कार्यप्रणाली और दीर्घकालिक स्वास्थ्य पर बहुआयामी प्रभाव डालते हैं। इन रसायनों के पारिस्थितिक प्रभाव जलीय, स्थलीय और सूक्ष्मजीवी तंत्रों में स्पष्ट रूप से देखे जा सकते हैं, जबकि मानव स्वास्थ्य पर इनके प्रभाव तीव्र, उप-तीव्र या दीर्घकालिक रूप में प्रकट हो सकते हैं। अनेक रसायन कम सांद्रता पर भी जैव-सक्रिय होते हैं, विशेषकर यदि वे हार्मोन-तंत्र, तंत्रिका-तंत्र, प्रतिरक्षा-तंत्र या कोशिकीय चयापचय को प्रभावित करते हों। मिश्रित संपर्क, दीर्घकालिक निम्न-स्तरीय संपर्क, तथा विकास के संवेदनशील चरणों में संपर्क इस समस्या को और जटिल बनाते हैं।

4.1 पारिस्थितिक तंत्र पर प्रभाव

विषैले रसायनों का पारिस्थितिक प्रभाव इस बात पर निर्भर करता है कि वे किस माध्यम में उपस्थित हैं, किन जीवों तक पहुँचते हैं, और वे उनकी शारीरिक, प्रजनन या व्यवहारगत प्रक्रियाओं को किस प्रकार प्रभावित करते हैं। जलीय पारिस्थितिक तंत्र अक्सर रासायनिक प्रदूषण के प्रति सबसे पहले और सबसे स्पष्ट प्रतिक्रिया देते हैं, क्योंकि नदियाँ, झीलें, अपशिष्ट जल निकास और तलछट विभिन्न रसायनों के अंतिम या मध्यवर्ती भंडार बन जाते हैं। इसी प्रकार, मृदा-तंत्र भी उन रसायनों से प्रभावित होते हैं जो कृषि, लैंडफिल, कीटनाशकों, अपशिष्ट जल स्लज और ठोस अपशिष्ट के माध्यम से वहाँ पहुँचते हैं।

4.1.1 जलीय जीवों में अंतःस्रावी व्यवधान

कई उपभोक्ता-आधारित रसायन, जैसे BPA, फ्थैलेट्स, ट्राइक्लोसन, कुछ कीटनाशक, PFAS और कुछ फ्लेम रिटार्डेंट्स, अंतःस्रावी व्यवधानकारी क्षमता रखते हैं। जब ये पदार्थ जल निकायों में पहुँचते हैं, तो मछलियों, उभयचरों, अकशेरुकी जीवों और अन्य जलीय जीवों के हार्मोन-तंत्र पर प्रभाव डाल सकते हैं। अंतःस्रावी तंत्र वृद्धि, यौन विभेदन, प्रजनन, चयापचय, व्यवहार और विकास को नियंत्रित करता है; अतः इसमें व्यवधान से व्यापक जैविक परिणाम उत्पन्न हो सकते हैं।

जलीय जीवों में अंतःस्रावी व्यवधान के प्रभावों में लैंगिक विकृति, असामान्य प्रजनन व्यवहार, अंडा उत्पादन में कमी, शुक्राणु गुणवत्ता में गिरावट, हार्मोन-स्तरों में परिवर्तन, विकासात्मक असामान्यताएँ और जनसंख्या स्तर पर प्रजनन सफलता में कमी शामिल हो सकती है। कुछ मछली प्रजातियों में नर जीवों में स्त्री-विशिष्ट जैव-रासायनिक संकेतकों का पाया जाना, यौन ग्रंथियों में विकार, तथा विकास के दौरान संरचनात्मक परिवर्तन इस समस्या की गंभीरता को दर्शाते हैं। यदि जलीय पारिस्थितिकी में प्रजनन और विकास प्रक्रियाएँ बाधित होती हैं, तो इसका प्रभाव केवल एक प्रजाति तक सीमित नहीं रहता, बल्कि खाद्य जाल, शिकारी-शिकार संबंधों और संपूर्ण पारिस्थितिक संतुलन पर पड़ सकता है।

4.1.2 मृदा के सूक्ष्मजीवों और कृषि उत्पादकता पर प्रभाव

मृदा केवल पौधों का आधार नहीं है, बल्कि यह एक जीवंत जैव-रासायनिक तंत्र है जिसमें बैक्टीरिया, फफूँद, एक्टिनोमाइसीट्स, प्रोटोजोआ, केंचुए और अनेक अन्य जीव मिलकर पोषक चक्र, कार्बनिक पदार्थ विघटन, नाइट्रोजन स्थिरीकरण, संरचनात्मक स्थिरता और पौध-विकास को बनाए रखते हैं। जब विषैले रसायन मृदा में पहुँचते हैं, तो वे इन सूक्ष्मजीव समुदायों की संरचना और क्रियाशीलता को प्रभावित कर सकते हैं। कुछ रसायन एंजाइमिक गतिविधि को कम करते हैं, कुछ सूक्ष्मजीवी विविधता को घटाते हैं, और कुछ पोषक तत्वों के चक्रण में बाधा उत्पन्न करते हैं। भारी धातुएँ विशेष रूप से मृदा सूक्ष्मजीवों के लिए विषैली हो सकती हैं और दीर्घकालिक संचय के कारण मृदा की जैविक गुणवत्ता को कमजोर कर सकती हैं।

मृदा प्रदूषण का प्रभाव पौधों पर भी पड़ता है। रासायनिक प्रदूषकों के कारण बीज अंकुरण, जड़-विकास, पोषक तत्व अवशोषण, प्रकाश-संश्लेषण और कुल जैवभार में कमी आ सकती है। कुछ धातुएँ पौध ऊतकों में संचित होकर खाद्य फसलों की गुणवत्ता और सुरक्षा को प्रभावित करती हैं। यदि मृदा का जैविक स्वास्थ्य क्षतिग्रस्त होता है, तो कृषि उत्पादकता, मृदा उर्वरता और खाद्य तंत्र की दीर्घकालिक स्थिरता भी प्रभावित होती है। इसलिए विषैले रसायनों की समस्या पर्यावरण प्रदूषण के साथ-साथ कृषि-आधारित आजीविका और खाद्य सुरक्षा का भी प्रश्न है।

4.2 मानव स्वास्थ्य पर प्रभाव

मानव स्वास्थ्य पर विषैले रसायनों का प्रभाव बहुआयामी है और यह संपर्क की प्रकृति, अवधि, मात्रा, आयु, जैविक संवेदनशीलता, पोषण स्थिति और सह-रुग्णताओं पर निर्भर करता है। दैनिक जीवन में रसायनों का संपर्क भोजन, पेयजल, त्वचा-संपर्क, श्वसन, घरेलू धूल, उपभोक्ता वस्तुओं, व्यावसायिक संपर्क और पर्यावरणीय प्रदूषण के माध्यम से होता है। कई बार यह संपर्क कम स्तर पर होता है, लेकिन निरंतर और बहु-स्रोत होने के कारण इसका संचयी प्रभाव महत्वपूर्ण हो सकता है। गर्भावस्था, शैशव, बचपन और किशोरावस्था जैसे विकासात्मक चरणों में रसायनों का प्रभाव विशेष रूप से अधिक गंभीर हो सकता है।

4.2.1 हार्मोनल असंतुलन

अनेक उपभोक्ता-जनित रसायनों में अंतःस्रावी व्यवधानकारी गुण पाए गए हैं। ये रसायन शरीर के प्राकृतिक हार्मोनों की नकल कर सकते हैं, उन्हें अवरुद्ध कर सकते हैं, उनके संश्लेषण, परिवहन, चयापचय या रिसेप्टर-बंधन को प्रभावित कर सकते हैं। परिणामस्वरूप शरीर की सामान्य हार्मोनल संतुलन प्रणाली में व्यवधान उत्पन्न हो सकता है। हार्मोन शरीर में अत्यल्प मात्रा में कार्य करते हैं और वृद्धि, प्रजनन, चयापचय, मस्तिष्क विकास, प्रतिरक्षा तथा व्यवहार को नियंत्रित करते हैं; अतः इनमें छोटे स्तर का हस्तक्षेप भी गंभीर दीर्घकालिक परिणाम उत्पन्न कर सकता है।

हार्मोनल असंतुलन का संबंध थायरॉइड क्रिया में परिवर्तन, यौवनारंभ के समय में बदलाव, चयापचयी विकारों, मोटापा, मधुमेह के जोखिम, स्तन और प्रोस्टेट ऊतकों में परिवर्तन तथा अन्य अंतःस्रावी रोगों से जोड़ा गया है। यह विशेष रूप से चिंताजनक है क्योंकि कई अंतःस्रावी व्यवधानकारी रसायन निम्न खुराकों पर भी प्रभाव दिखा सकते हैं और मिश्रित संपर्क की स्थिति में उनका प्रभाव पारंपरिक विष-विज्ञान अनुमान से भिन्न हो सकता है।

4.2.2 प्रजनन संबंधी समस्याएँ

फ्थैलेट्स, BPA, कुछ कीटनाशक, भारी धातुएँ और अन्य अंतःस्रावी व्यवधानकारी पदार्थों का संबंध पुरुष और महिला दोनों में प्रजनन संबंधी समस्याओं से जोड़ा गया है। पुरुषों में शुक्राणु संख्या और गुणवत्ता में कमी, टेस्टोस्टेरोन असंतुलन, प्रजनन अंगों के विकास में परिवर्तन, तथा प्रजनन क्षमता में गिरावट जैसी समस्याएँ सामने आई हैं। महिलाओं में मासिक चक्र असामान्यता, हार्मोनल व्यवधान, गर्भधारण में कठिनाई, गर्भपात का जोखिम, भ्रूण विकास पर प्रतिकूल प्रभाव और जन्मजात विकृतियों की संभावना बढ़ सकती है। गर्भावस्था के दौरान रसायनों का संपर्क विशेष रूप से संवेदनशील होता है क्योंकि इस समय भ्रूण का तीव्र विकास हो रहा होता है और प्लेसेंटा कई रसायनों को पूर्णतः रोक नहीं पाता।

4.2.3 कैंसर का जोखिम

कुछ विषैले रसायन संभावित या सिद्ध कैंसरकारी प्रभाव रखते हैं। कैंसर का जोखिम प्रत्यक्ष DNA क्षति, ऑक्सीडेटिव तनाव, हार्मोनल व्यवधान, कोशिका-वृद्धि नियंत्रण में हस्तक्षेप, प्रतिरक्षा-दमन या दीर्घकालिक सूजन के माध्यम से बढ़ सकता है। उपभोक्ता उत्पादों में उपस्थित कुछ सॉल्वेंट, फॉर्मल्डिहाइड, बेंजीन, भारी धातुएँ, कुछ कीटनाशक और कुछ औद्योगिक उप-उत्पाद कैंसर-जोखिम से जोड़े गए हैं। अंतःस्रावी व्यवधानकारी रसायनों के संदर्भ में यह चिंता और अधिक बढ़ जाती है क्योंकि वे हार्मोन-संवेदनशील ऊतकों, जैसे स्तन, प्रोस्टेट और प्रजनन तंत्र, पर दीर्घकालिक प्रभाव डाल सकते हैं। यद्यपि कैंसर एक बहु-कारक रोग है और किसी एक रसायन को प्रत्यक्ष कारण के रूप में स्थापित करना कठिन हो सकता है, फिर भी कुल रासायनिक संपर्क-भार को कैंसर-नियंत्रण रणनीति का महत्त्वपूर्ण हिस्सा माना जाना चाहिए।

4.2.4 श्वसन तंत्र पर VOCs का प्रभाव

वाष्पशील कार्बनिक यौगिक घरेलू और व्यावसायिक वातावरण में श्वसन संपर्क के प्रमुख स्रोत हैं। एयर फ्रेशनर, पेंट, क्लीनर, पॉलिश, एरोसोल स्प्रे, सुगंधित उत्पाद और निर्माण सामग्री से उत्सर्जित VOCs आँखों, नाक, गले और श्वसन पथ में जलन उत्पन्न कर सकते हैं। इनके संपर्क से सिरदर्द, चक्कर, मतली, एलर्जिक प्रतिक्रिया, अस्थमा के लक्षणों में वृद्धि और कुछ मामलों में दीर्घकालिक श्वसन रोगों का जोखिम बढ़ सकता है। बंद स्थानों में अपर्याप्त वेंटिलेशन के कारण इनका प्रभाव अधिक गंभीर हो सकता है। कुछ VOCs अन्य वायुमंडलीय घटकों के साथ प्रतिक्रिया कर द्वितीयक प्रदूषक बनाते हैं, जो और भी अधिक उत्तेजक या विषैले हो सकते हैं।

4.2.5 तंत्रिका तंत्र पर भारी धातुओं और अन्य रसायनों का प्रभाव

सीसा, पारा और कैडमियम जैसी भारी धातुएँ तंत्रिका तंत्र के लिए अत्यंत हानिकारक मानी जाती हैं। सीसा विशेष रूप से बच्चों में संज्ञानात्मक विकास, सीखने की क्षमता, व्यवहार नियंत्रण और बुद्धिलब्धि पर प्रतिकूल प्रभाव डाल सकता है। पारा के संपर्क से न्यूरोमस्कुलर समन्वय, स्मृति, दृष्टि और श्रवण पर प्रभाव पड़ सकता है, जबकि कैडमियम का संबंध तंत्रिका संबंधी तनाव के साथ-साथ गुर्दा और अस्थि-प्रणाली पर भी पड़ता है। वयस्कों में दीर्घकालिक संपर्क से न्यूरोडीजेनेरेटिव प्रक्रियाओं, परिधीय तंत्रिका क्षति और मानसिक स्वास्थ्य संबंधी विकारों की आशंका बढ़ सकती है। तंत्रिका-विषाक्तता केवल भारी धातुओं तक सीमित नहीं है; कुछ सॉल्वेंट, कीटनाशक, फ्लेम रिटार्डेंट्स और वाष्पशील कार्बनिक यौगिक भी तंत्रिका-तंत्र को प्रभावित कर सकते हैं। विकास के प्रारंभिक चरणों में संपर्क विशेष रूप से चिंताजनक है क्योंकि इस समय मस्तिष्क की संरचना और न्यूरल नेटवर्क का निर्माण जारी होता है। यही कारण है कि गर्भवती महिलाओं, शिशुओं और बच्चों के लिए विषैले रसायनों से सुरक्षा को सार्वजनिक स्वास्थ्य नीति में प्राथमिकता दी जानी चाहिए।

4.3 मिश्रित संपर्क और संवेदनशील आबादी

वास्तविक जीवन में मनुष्य और अन्य जीव एक समय में एक ही रसायन के संपर्क में नहीं आते, बल्कि अनेक रसायनों के मिश्रित संपर्क का सामना करते हैं। यह मिश्रित संपर्क योगात्मक, सहक्रियात्मक या कभी-कभी विरोधी प्रभाव उत्पन्न कर सकता है। उदाहरण के लिए, दो या अधिक अंतःस्रावी व्यवधानकारी रसायन अलग-अलग निम्न स्तर पर हों, फिर भी संयुक्त रूप से उल्लेखनीय प्रभाव उत्पन्न कर सकते हैं। इसी प्रकार कुपोषण, संक्रमण, सामाजिक तनाव, खराब आवासीय परिस्थितियाँ और प्रदूषित जल जैसी स्थितियाँ रासायनिक जोखिमों के प्रभाव को और बढ़ा सकती हैं।
संवेदनशील आबादी में गर्भवती महिलाएँ, भ्रूण, शिशु, बच्चे, वृद्ध, रोगग्रस्त व्यक्ति, औद्योगिक श्रमिक, अपशिष्ट क्षेत्र में काम करने वाले लोग, तथा प्रदूषण-प्रभावित समुदाय शामिल हैं। इनके लिए जोखिम मूल्यांकन में औसत स्वस्थ वयस्क मॉडल पर्याप्त नहीं है; बल्कि संवेदनशीलता, बहु-संपर्क और सामाजिक असमानताओं को भी शामिल किया जाना चाहिए। पारिस्थितिक और स्वास्थ्य प्रभावों का समग्र विश्लेषण यह स्पष्ट करता है कि दैनिक जीवन में प्रयुक्त विषैले रसायन केवल व्यक्तिगत उत्पाद-सुरक्षा का प्रश्न नहीं हैं, बल्कि वे पर्यावरणीय स्थिरता, खाद्य जाल, जैवविविधता, मृदा स्वास्थ्य, कृषि उत्पादकता और मानव रोग-भार से गहरे रूप में जुड़े हैं। जलीय जीवों में अंतःस्रावी व्यवधान, मृदा सूक्ष्मजीवों की कार्यक्षमता में कमी, कृषि प्रणाली पर प्रभाव, हार्मोनल असंतुलन, प्रजनन समस्याएँ, कैंसर का संभावित जोखिम तथा श्वसन और तंत्रिका तंत्र पर प्रतिकूल प्रभाव—ये सभी संकेत करते हैं कि रासायनिक सुरक्षा का प्रश्न बहु-विषयी और दीर्घकालिक नीति-हस्तक्षेप की माँग करता है। इस समस्या का प्रभावी समाधान तभी संभव है जब जोखिम मूल्यांकन, सुरक्षित विकल्प, नियामक नियंत्रण, उपभोक्ता जागरूकता और पर्यावरणीय न्याय को एकीकृत दृष्टिकोण से देखा जाए।

5. सुरक्षित विकल्प और हरित समाधान

दैनिक जीवन में विषैले रसायनों के बढ़ते उपयोग और उनके पर्यावरणीय तथा स्वास्थ्य संबंधी दुष्प्रभावों ने यह स्पष्ट कर दिया है कि केवल प्रदूषण-नियंत्रण या अपशिष्ट-प्रबंधन पर्याप्त समाधान नहीं हैं। वास्तविक और दीर्घकालिक समाधान उन विकल्पों के विकास और अपनाने में निहित है जो उत्पादों की उपयोगिता बनाए रखते हुए उनकी विषाक्तता, स्थायित्व, जैव-संचयन क्षमता और पर्यावरणीय भार को कम करें। इस संदर्भ में हरित रसायन, जैव-आधारित पदार्थ, कम-विषाक्त निर्माण प्रक्रियाएँ, सुरक्षित उपभोक्ता उत्पाद, तथा जीवन-चक्र-आधारित मूल्यांकन जैसे दृष्टिकोण अत्यंत महत्त्वपूर्ण हो जाते हैं। सुरक्षित विकल्पों की अवधारणा का उद्देश्य केवल किसी एक हानिकारक रसायन को हटाना नहीं, बल्कि ऐसे समग्र समाधान विकसित करना है जो मानव स्वास्थ्य, पर्यावरणीय सुरक्षा और आर्थिक व्यवहार्यता के बीच संतुलन स्थापित करें।

5.1 हरित रसायन: सुरक्षित डिजाइन की आधारभूत अवधारणा

हरित रसायन उस वैज्ञानिक और तकनीकी दृष्टिकोण को संदर्भित करती है जिसमें रासायनिक उत्पादों और प्रक्रियाओं को इस प्रकार डिजाइन किया जाता है कि वे विषैले पदार्थों के उपयोग और निर्माण को न्यूनतम करें या समाप्त करें। पारंपरिक रासायनिक उद्योग में लंबे समय तक दक्षता, उत्पादन क्षमता और लागत को प्रमुख प्राथमिकता दी जाती रही, जबकि विषाक्तता और पर्यावरणीय स्थिरता पर अपेक्षाकृत कम ध्यान दिया गया। हरित रसायन इस सोच में मूलभूत परिवर्तन प्रस्तुत करती है। इसका उद्देश्य यह नहीं कि केवल उत्पादन के बाद उत्पन्न प्रदूषण का उपचार किया जाए, बल्कि यह कि शुरुआत से ही ऐसे रसायनों और प्रक्रियाओं को अपनाया जाए जिनसे प्रदूषण उत्पन्न ही न हो या बहुत कम हो। हरित रसायन के 12 सिद्धांत इस दिशा में एक वैज्ञानिक ढाँचा प्रदान करते हैं। इनमें अपशिष्ट की रोकथाम, परमाणु अर्थव्यवस्था, कम विषाक्त संश्लेषण, सुरक्षित रसायनों का डिजाइन, सुरक्षित विलायकों और सहायक पदार्थों का उपयोग, ऊर्जा दक्षता, नवीकरणीय कच्चे माल का उपयोग, अनावश्यक व्युत्पन्नों से बचाव, उत्प्रेरकों का उपयोग, अपघटनीय डिजाइन, वास्तविक समय विश्लेषण तथा दुर्घटना-निरोधी रसायन-प्रक्रियाएँ शामिल हैं। इन सिद्धांतों का अनुप्रयोग उद्योगों को प्रतिक्रियाशील नहीं बल्कि पूर्व-निवारक दृष्टिकोण अपनाने के लिए प्रेरित करता है।

दैनिक जीवन में प्रयुक्त उत्पादों के संदर्भ में हरित रसायन का अर्थ है कि प्लास्टिक, सफाई एजेंट, व्यक्तिगत देखभाल उत्पाद, कोटिंग्स, पैकेजिंग और औद्योगिक सामग्री को ऐसे विकल्पों से प्रतिस्थापित किया जाए जो कम-विषाक्त, जैव-अनुकूल और नियंत्रित पर्यावरणीय व्यवहार वाले हों। उदाहरण के लिए, ऐसे प्लास्टिसाइज़र विकसित किए जा सकते हैं जो अंतःस्रावी व्यवधानकारी न हों; ऐसे परिरक्षक चुने जा सकते हैं जिनकी जैव-अपघट्यता अधिक हो; और ऐसे औद्योगिक विलायक अपनाए जा सकते हैं जो VOC उत्सर्जन कम करें। हरित रसायन की सबसे बड़ी विशेषता यह है कि यह समस्या के मूल कारण—रासायनिक डिजाइन—को संबोधित करती है, न कि केवल उसके बाद उत्पन्न परिणामों को।

5.2 जैव-आधारित पदार्थ: नवीकरणीय संसाधनों की ओर संक्रमण

सुरक्षित विकल्पों की चर्चा में जैव-आधारित पदार्थों का विशेष स्थान है। ये वे पदार्थ हैं जो जीवाश्म ईंधनों पर आधारित पारंपरिक रासायनिक कच्चे माल के स्थान पर पौधों, सूक्ष्मजीवों, कृषि-अवशेषों, स्टार्च, सेल्यूलोज, वनस्पति तेल, शर्करा या अन्य नवीकरणीय जैव-संसाधनों से प्राप्त होते हैं। जैव-आधारित पदार्थों का उद्देश्य केवल कच्चे माल का स्रोत बदलना नहीं है, बल्कि उत्पादन प्रक्रिया को अधिक टिकाऊ, ऊर्जा-कुशल और पर्यावरणीय दृष्टि से कम हानिकारक बनाना भी है। हालांकि यह आवश्यक है कि किसी भी जैव-आधारित विकल्प को स्वतः सुरक्षित या सतत न माना जाए; उसकी वास्तविक उपयोगिता इस बात पर निर्भर करती है कि उसका उत्पादन कैसे होता है, उसकी कार्यक्षमता क्या है, और उसका जीवन-चक्र पर्यावरण पर कितना भार डालता है।

5.2.1 पारंपरिक प्लास्टिक के स्थान पर बायोप्लास्टिक

पारंपरिक प्लास्टिक मुख्यतः पेट्रोकेमिकल स्रोतों से निर्मित होते हैं और इनमें अनेक ऐसे योजक होते हैं जो विषैले हो सकते हैं। इनकी दीर्घकालिक स्थायित्व, माइक्रोप्लास्टिक निर्माण, लैंडफिल संचय और समुद्री प्रदूषण जैसी समस्याओं ने वैकल्पिक सामग्रियों की खोज को तेज किया है। इसी संदर्भ में बायोप्लास्टिक, विशेषकर PLA (पॉलीलैक्टिक एसिड) और PHA (पॉलीहाइड्रॉक्सीअल्कानोएट्स), महत्त्वपूर्ण विकल्पों के रूप में उभरे हैं।

PLA सामान्यतः मकई, गन्ना या अन्य शर्करा-समृद्ध स्रोतों से प्राप्त लैक्टिक अम्ल के पॉलिमरीकरण से निर्मित होता है। इसका उपयोग पैकेजिंग, डिस्पोजेबल कटलरी, खाद्य कंटेनर, 3D प्रिंटिंग, जैव-चिकित्सीय उत्पादों और फाइबर सामग्री में किया जाता है। इसकी प्रमुख विशेषता यह है कि यह नवीकरणीय स्रोतों से बन सकता है और कुछ नियंत्रित परिस्थितियों में जैव-अपघट्य या कम्पोस्ट योग्य हो सकता है। दूसरी ओर, PHA सूक्ष्मजीवों द्वारा जैव-संश्लेषित पॉलिमर हैं, जो पर्यावरणीय रूप से अधिक अनुकूल माने जाते हैं क्योंकि कुछ स्थितियों में वे समुद्री और मिट्टी के वातावरण में भी बेहतर अपघटन क्षमता दिखा सकते हैं। फिर भी बायोप्लास्टिक के उपयोग में सावधानी अपेक्षित है। सभी बायोप्लास्टिक सभी परिस्थितियों में जैव-अपघट्य नहीं होते; कई को औद्योगिक कम्पोस्टिंग जैसी विशिष्ट स्थितियों की आवश्यकता होती है। यदि उनके संग्रहण और प्रसंस्करण की व्यवस्था न हो, तो वे भी ठोस अपशिष्ट समस्या का हिस्सा बन सकते हैं। इसके अतिरिक्त, कृषि भूमि, जल उपयोग, खाद-उर्वरक इनपुट और खाद्य बनाम उद्योग संसाधन प्रतिस्पर्धा जैसे प्रश्न भी महत्वपूर्ण हैं। इसलिए बायोप्लास्टिक को पारंपरिक प्लास्टिक का पूर्ण समाधान न मानकर एक संदर्भ-विशिष्ट विकल्प के रूप में देखा जाना चाहिए, जिसका चयन कार्यक्षमता, अपशिष्ट-ढाँचे और जीवन-चक्र विश्लेषण के आधार पर किया जाए।

5.2.2 पौधों पर आधारित सुरक्षित सफाई एजेंट और सौंदर्य प्रसाधन

घरेलू सफाई एजेंट और व्यक्तिगत देखभाल उत्पादों में विषैले रसायनों के स्थान पर पौधों पर आधारित और कम-विषाक्त विकल्पों का उपयोग तेजी से बढ़ रहा है। वनस्पति तेलों, प्राकृतिक सर्फेक्टेंट्स, साइट्रिक अम्ल, बेकिंग सोडा, सिरका, एंजाइम-आधारित घटकों, आवश्यक तेलों और जैव-आधारित सॉल्वेंट्स का प्रयोग सफाई उत्पादों में किया जा सकता है। ऐसे उत्पाद प्रायः कम VOC उत्सर्जन करते हैं, इनडोर वायु पर कम प्रभाव डालते हैं और जल निकायों में पहुँचने पर अपेक्षाकृत अधिक जैव-अपघट्य हो सकते हैं। हालांकि "प्राकृतिक" शब्द का अर्थ स्वतः "सुरक्षित" नहीं है; कुछ आवश्यक तेल एलर्जेनिक हो सकते हैं, और कुछ पौध-आधारित घटक भी अनुचित सांद्रता पर त्वचा या श्वसन-पथ को प्रभावित कर सकते हैं। इसलिए पौध-आधारित उत्पादों के लिए भी वैज्ञानिक सुरक्षा मूल्यांकन आवश्यक है।

सौंदर्य प्रसाधनों में वनस्पति-आधारित तेल, मोम, प्राकृतिक रंगद्रव्य, जैविक अर्क, गैर-संश्लेषित सुगंध, तथा कम-विषाक्त परिरक्षक विकल्प विकसित किए जा रहे हैं। पैराबेन्स, ट्राइक्लोसन, सिंथेटिक मस्क और कुछ फ्थैलेट्स जैसे घटकों के विकल्प के रूप में ऐसी प्रणालियाँ विकसित करने का प्रयास हो रहा है जो उत्पाद की स्थायित्व और उपभोक्ता-उपयुक्तता बनाए रखें, परंतु स्वास्थ्य जोखिम कम करें। तथापि यहाँ भी यह आवश्यक है कि "हर्बल", "ऑर्गेनिक" या "ग्रीन" जैसे लेबल केवल विपणन तक सीमित न रहें, बल्कि वास्तविक रासायनिक संरचना, शुद्धता, स्थिरता, जैव-अपघटन और त्वचा-सुरक्षा के वैज्ञानिक परीक्षणों से समर्थित हों।

5.3 सुरक्षित विकल्पों के चयन में कार्यात्मक प्रतिस्थापन का महत्व

किसी विषैले रसायन के स्थान पर विकल्प चुनते समय यह केवल रासायनिक प्रतिस्थापन का मामला नहीं होता, बल्कि कार्यात्मक आवश्यकता का प्रश्न भी होता है। उदाहरण के लिए, यदि जल-रोधी कपड़े में PFAS का उपयोग हटाना है, तो यह समझना होगा कि उपभोक्ता को वास्तव में किस स्तर की जलरोधकता चाहिए, क्या उसी कार्य के लिए कोई वैकल्पिक डिजाइन संभव है, या क्या उपयोग की आदतों में परिवर्तन से रासायनिक आवश्यकता कम की जा सकती है। इसी प्रकार प्लास्टिक पैकेजिंग को हटाने के लिए केवल नया पॉलिमर देना पर्याप्त नहीं; भंडारण, खाद्य सुरक्षा, परिवहन-क्षमता, पुनर्चक्रण और अपशिष्ट संरचना को भी ध्यान में रखना होगा।

कार्यात्मक प्रतिस्थापन का सिद्धांत यह सुनिश्चित करता है कि एक समस्या-जनक रसायन को किसी ऐसे विकल्प से न बदला जाए जो बाद में समान या अधिक गंभीर जोखिम पैदा करे। इसे "रिग्रेटेबल सब्स्टीट्यूशन" से बचना भी कहा जा सकता है। सुरक्षित विकल्पों के चयन में विषाक्तता, स्थायित्व, जैव-संचयन, ऊर्जा उपयोग, उत्पादन लागत, उपयोग दक्षता, पुनर्चक्रण क्षमता और सामाजिक-आर्थिक व्यवहार्यता सभी का मूल्यांकन आवश्यक है।

5.4 जीवन-चक्र-आधारित मूल्यांकन (Life Cycle Assessment - LCA)

सुरक्षित और हरित विकल्पों के मूल्यांकन में जीवन-चक्र-आधारित मूल्यांकन एक अत्यंत प्रभावी उपकरण है। LCA किसी उत्पाद, प्रक्रिया या सामग्री के पर्यावरणीय प्रभाव का विश्लेषण उसके पूरे जीवन-चक्र में करता है—कच्चे माल के निष्कर्षण से लेकर उत्पादन, परिवहन, वितरण, उपयोग, पुनः उपयोग, पुनर्चक्रण और अंतिम निपटान तक। इस दृष्टिकोण को अक्सर cradle-to-grave कहा जाता है, क्योंकि यह उत्पाद की "जन्म" अवस्था से लेकर "अंतिम निपटान" तक की संपूर्ण प्रक्रिया को समाहित करता है।

LCA का महत्त्व इसलिए बढ़ जाता है क्योंकि कई बार कोई विकल्प पहली दृष्टि में पर्यावरण-अनुकूल प्रतीत होता है, परंतु उसके पूरे जीवन-चक्र का विश्लेषण करने पर यह स्पष्ट होता है कि वह अन्य चरणों में अधिक ऊर्जा, अधिक जल, अधिक भूमि, या अधिक प्रदूषण उत्पन्न करता है। उदाहरण के लिए, कोई जैव-आधारित पैकेजिंग सामग्री उपयोग के बाद बेहतर अपघटन क्षमता रख सकती है, लेकिन यदि उसके उत्पादन में अधिक भूमि-उपयोग परिवर्तन, उर्वरक खपत, जल उपयोग या परिवहन-ऊर्जा की आवश्यकता हो, तो कुल पर्यावरणीय लाभ कम हो सकता है। इसी प्रकार काँच, धातु, कागज, पुनर्चक्रित प्लास्टिक और बायोप्लास्टिक जैसे विकल्पों की तुलना करते समय केवल अपशिष्ट चरण नहीं, बल्कि पूर्ण जीवन-चक्र को देखना आवश्यक है। LCA में सामान्यतः ऊर्जा उपयोग, ग्रीनहाउस गैस उत्सर्जन, जल-पदचिह्न, अम्लीकरण, यूट्रोफिकेशन, विषाक्तता, संसाधन-क्षय और अपशिष्ट-भार जैसे संकेतकों का विश्लेषण किया जाता है। यदि इस ढाँचे में मानव विषाक्तता और पारिस्थितिक विषाक्तता के संकेतकों को भी शामिल किया जाए, तो यह सुरक्षित विकल्पों के चयन में अत्यंत उपयोगी बनता है। रासायनिक विकल्पों की वास्तविक स्थिरता को समझने के लिए LCA को नीति-निर्माण, उद्योग-डिज़ाइन और उत्पाद लेबलिंग के साथ एकीकृत किया जाना चाहिए।

5.5 समग्र हरित संक्रमण की आवश्यकता

सुरक्षित विकल्पों की दिशा में वास्तविक परिवर्तन केवल कुछ उत्पादों के प्रतिस्थापन तक सीमित नहीं होना चाहिए। इसके लिए उत्पादन प्रणाली, उपभोक्ता व्यवहार, आपूर्ति श्रृंखला, अपशिष्ट प्रबंधन और नियामक ढाँचे में समग्र परिवर्तन आवश्यक है। हरित रसायन और जैव-आधारित पदार्थ तभी प्रभावी होंगे जब उनके साथ पुनः उपयोग, पुनर्भरण, न्यूनतम पैकेजिंग, स्वच्छ विनिर्माण, ऊर्जा दक्षता और दुष्प्रभावों के पारदर्शी प्रकटीकरण जैसी रणनीतियाँ

जुड़ी हों। इस प्रकार सुरक्षित विकल्प केवल तकनीकी नवाचार का विषय नहीं, बल्कि सतत उत्पादन और जिम्मेदार उपभोग की व्यापक सामाजिक-आर्थिक प्रक्रिया का हिस्सा हैं।

6. नियामक नीतियां और शमन रणनीतियाँ

विषैले रसायनों के प्रभावी प्रबंधन के लिए वैज्ञानिक ज्ञान जितना महत्त्वपूर्ण है, उतनी ही महत्त्वपूर्ण है एक सुदृढ़ नियामक व्यवस्था। यदि रसायनों के उत्पादन, विपणन, उपयोग, लेबलिंग, जोखिम मूल्यांकन, अपशिष्ट प्रबंधन और उद्योग उत्तरदायित्व के लिए स्पष्ट और क्रियाशील नियम न हों, तो सुरक्षित विकल्पों का विकास और अपनाना सीमित रह जाता है। इसलिए रासायनिक जोखिमों को कम करने के लिए अंतर्राष्ट्रीय और राष्ट्रीय नीति-ढाँचों, कानूनों, मानकों और प्रवर्तन प्रणालियों की भूमिका केंद्रीय है। हालाँकि नीति-निर्माण का उद्देश्य केवल प्रतिबंध लगाना नहीं होना चाहिए, बल्कि नवाचार को प्रोत्साहित करना, सुरक्षित विकल्पों की ओर संक्रमण को बढ़ावा देना, और उद्योग एवं समाज दोनों को उत्तरदायी बनाना भी होना चाहिए।

6.1 अंतर्राष्ट्रीय और राष्ट्रीय नीतियाँ

वैश्विक स्तर पर रसायनों के प्रबंधन के लिए अनेक नीतिगत ढाँचे विकसित किए गए हैं, जिनका उद्देश्य मानव स्वास्थ्य और पर्यावरण की रक्षा करना है। इनमें रसायनों की पहचान, पंजीकरण, जोखिम मूल्यांकन, सीमित उपयोग, प्रतिबंध, निर्यात-आयात नियंत्रण, स्थायी प्रदूषकों का उन्मूलन, तथा अपशिष्ट के सुरक्षित प्रबंधन जैसे प्रावधान शामिल हैं। चूँकि अनेक विषैले रसायन सीमाओं से परे परिवहनित हो सकते हैं और वैश्विक आपूर्ति श्रृंखलाओं का हिस्सा होते हैं, इसलिए केवल राष्ट्रीय नीतियाँ पर्याप्त नहीं हैं; अंतर्राष्ट्रीय सहयोग अनिवार्य है।

6.1.1 REACH (यूरोप)

यूरोपीय संघ का REACH ढाँचा रसायनों के पंजीकरण, मूल्यांकन, प्राधिकरण और प्रतिबंध की एक व्यापक प्रणाली प्रस्तुत करता है। इसका मूल सिद्धांत यह है कि उद्योगों पर यह जिम्मेदारी है कि वे यह प्रदर्शित करें कि उनके द्वारा उपयोग किए जाने वाले रसायन सुरक्षित हैं। REACH ने कई उच्च-चिंताजनक पदार्थों की पहचान, डेटा पारदर्शिता, प्रतिस्थापन को बढ़ावा, तथा सुरक्षित रासायनिक प्रबंधन के लिए एक सशक्त उदाहरण प्रस्तुत किया है। इसके माध्यम से यह अवधारणा मजबूत हुई कि रसायनों को बाजार में लाने से पहले उनके जोखिमों की पर्याप्त जानकारी उपलब्ध होनी चाहिए, न कि नुकसान सामने आने के बाद ही कार्रवाई की जाए।

6.1.2 EPA दिशा-निर्देश (अमेरिका)

संयुक्त राज्य अमेरिका में पर्यावरण संरक्षण एजेंसी (EPA) रसायनों, कीटनाशकों, औद्योगिक प्रदूषकों, पेयजल प्रदूषकों और जोखिम मूल्यांकन के अनेक पहलुओं को नियंत्रित करती है। विभिन्न विधिक ढाँचों के माध्यम से EPA रसायनों के परीक्षण, उपयोग-नियंत्रण, उत्सर्जन सीमा, पर्यावरणीय मानकों और स्वास्थ्य-आधारित दिशानिर्देशों को लागू करती है। इस प्रकार की संस्थागत व्यवस्था का महत्त्व इसलिए है क्योंकि यह वैज्ञानिक साक्ष्य को नीति में अनुवादित करने का माध्यम प्रदान करती है। विशेष रूप से उभरते प्रदूषकों, औद्योगिक रसायनों और उपभोक्ता सुरक्षा के संदर्भ में वैज्ञानिक निगरानी, जोखिम संचार और मानक-निर्धारण की भूमिका अत्यंत महत्त्वपूर्ण है।

6.1.3 भारत में रासायनिक अपशिष्ट प्रबंधन नियम

भारत में रासायनिक प्रबंधन का ढाँचा अनेक कानूनों और नियमों के माध्यम से संचालित होता है, जिनमें खतरनाक अपशिष्ट प्रबंधन, जैव-चिकित्सीय अपशिष्ट, प्लास्टिक अपशिष्ट, ई-कचरा प्रबंधन, फैक्टरी सुरक्षा, जल एवं वायु प्रदूषण नियंत्रण, और रासायनिक दुर्घटना प्रबंधन से संबंधित प्रावधान शामिल हैं। भारत जैसे विशाल और विविधतापूर्ण देश में यह चुनौती और बढ़ जाती है क्योंकि औपचारिक उद्योगों के साथ-साथ अनौपचारिक पुनर्चक्रण क्षेत्र, छोटे उद्यम, असंगठित बाजार और सीमित निगरानी-क्षमता भी मौजूद हैं। ई-कचरा, प्लास्टिक, औद्योगिक रसायन, कृषि-कीटनाशक और शहरी अपशिष्ट के सुरक्षित प्रबंधन के लिए नियम तो मौजूद हैं, परंतु उनका प्रभावशील क्रियान्वयन अभी भी एक प्रमुख चुनौती बना हुआ है।

6.2 नीतिगत कमियाँ और क्रियान्वयन की चुनौतियाँ

यद्यपि अनेक देशों और क्षेत्रों में रासायनिक प्रबंधन के नियम उपलब्ध हैं, फिर भी व्यवहार में कई कमियाँ दिखाई देती हैं। सबसे पहली समस्या डेटा की कमी है। हजारों रसायन बाजार में उपयोग हो रहे हैं, परंतु उनमें से बहुतों के दीर्घकालिक विषाक्त प्रभाव, अंतःस्रावी व्यवधानकारी क्षमता, मिश्रित प्रभाव, जैव-संचयन या पर्यावरणीय भाग्य के बारे में पर्याप्त जानकारी उपलब्ध नहीं है। परिणामस्वरूप नियमन अक्सर उन रसायनों तक सीमित रह जाता है जिनके दुष्प्रभाव पहले से स्पष्ट हो चुके हैं।

दूसरी प्रमुख चुनौती है क्रियान्वयन क्षमता की कमी। कई देशों में निगरानी अवसंरचना सीमित है, प्रयोगशाला सुविधाएँ अपर्याप्त हैं, निरीक्षण तंत्र कमजोर है, तथा उद्योगों और स्थानीय निकायों के बीच समन्वय का अभाव होता है। अनौपचारिक क्षेत्र, विशेषकर ई-कचरा पुनर्चक्रण और ठोस अपशिष्ट प्रबंधन, अनेक बार नियामक दायरे से बाहर रह जाते हैं। तीसरी समस्या यह है कि कुछ नियम उत्पाद के किसी एक चरण को नियंत्रित करते हैं, परंतु पूरे जीवन-चक्र को नहीं। उदाहरण के लिए, किसी रसायन पर उपयोग-प्रतिबंध हो सकता है, लेकिन उसका विकल्प पर्याप्त रूप से परीक्षणित नहीं होता, या अपशिष्ट चरण में उसका नियंत्रण कमजोर रह जाता है।

चौथी चुनौती पारदर्शिता की है। उपभोक्ता उत्पादों में प्रयुक्त सभी रसायनों की स्पष्ट लेबलिंग नहीं होती, "फ्रेगरेंस" या "प्रोप्राइटरी ब्लेंड" जैसे शब्दों के पीछे वास्तविक रासायनिक संरचना छिपी रह सकती है, और उपभोक्ताओं को जोखिम की पूरी जानकारी नहीं मिलती। पाँचवीं चुनौती वैश्विक आपूर्ति शृंखलाओं की है। कोई उत्पाद एक देश में निर्मित, दूसरे में संयोजित और तीसरे में बेचा जा सकता है; ऐसी स्थिति में नियामक समन्वय जटिल हो जाता है। इसलिए वर्तमान कानूनों की प्रभावशीलता केवल उनके लिखित प्रावधानों से नहीं, बल्कि निगरानी, परीक्षण, प्रवर्तन, पारदर्शिता और संस्थागत उत्तरदायित्व से निर्धारित होती है।

6.3 उद्योग-नीति-समाज का समन्वित ढाँचा

विषैले रसायनों की समस्या का समाधान किसी एक संस्था, कानून या तकनीकी उपाय से संभव नहीं है। इसके लिए उद्योग, सरकार, वैज्ञानिक समुदाय, नागरिक समाज और उपभोक्ताओं के बीच समन्वित ढाँचे की आवश्यकता है। यदि केवल नियमन किया जाए लेकिन उद्योग सुरक्षित विकल्पों के विकास में निवेश न करे, तो संक्रमण धीमा होगा। यदि विकल्प उपलब्ध हों लेकिन उपभोक्ता जागरूकता न हो, तो मांग सीमित रहेगी। यदि नागरिक जागरूक हों लेकिन नीति और प्रवर्तन कमजोर हों, तो व्यापक प्रभाव नहीं पड़ सकेगा। इसलिए बहु-हितधारक दृष्टिकोण अनिवार्य है।

6.3.1 उद्योगों की भूमिका: Extended Producer Responsibility (EPR)

उद्योगों की भूमिका केवल उत्पाद निर्माण तक सीमित नहीं होनी चाहिए; उन्हें अपने उत्पादों के पूरे जीवन-चक्र, विशेषकर उपयोगोत्तर अवस्था, के लिए भी उत्तरदायी बनाया जाना चाहिए। इसी विचार पर Extended Producer Responsibility आधारित है। EPR के अंतर्गत उत्पादक पर यह जिम्मेदारी डाली जाती है कि वह उत्पाद के संग्रहण, पुनर्चक्रण, सुरक्षित निपटान और पर्यावरणीय प्रभाव को कम करने के लिए व्यवस्थाएँ विकसित करे। यह विशेष रूप से प्लास्टिक, पैकेजिंग, ई-कचरा, बैटरियों और बहु-घटक उत्पादों के संदर्भ में महत्त्वपूर्ण है।

EPR का एक बड़ा लाभ यह है कि यह उद्योगों को ऐसे उत्पाद डिजाइन करने के लिए प्रेरित करता है जो कम विषैले हों, आसानी से पुनर्चक्रित किए जा सकें, कम सामग्री का उपयोग करें, और जीवन-चक्र के अंत में कम प्रदूषण उत्पन्न करें। जब उत्पादक को अपशिष्ट चरण की जिम्मेदारी उठानी पड़ती है, तब वह डिजाइन-स्तर पर सुधार के प्रति अधिक संवेदनशील होता है। इसके साथ स्वच्छ उत्पादन तकनीकों का उपयोग भी अत्यंत महत्त्वपूर्ण है। स्वच्छ उत्पादन में कच्चे माल की दक्षता, कम-विषाक्त रसायनों का उपयोग, बंद-लूप प्रक्रियाएँ, उत्सर्जन में कमी, ऊर्जा दक्षता, जल पुनर्चक्रण और अपशिष्ट न्यूनता शामिल होती है। इस दृष्टिकोण से उद्योग "प्रदूषक" से "समाधान-भागीदार" में परिवर्तित हो सकता है।

6.3.2 सरकार और नीति-निर्माताओं की भूमिका

सरकार की भूमिका नियमन तक सीमित नहीं है; उसे सक्षम अवसंरचना, परीक्षण प्रयोगशालाएँ, मानकीकरण, सुरक्षित विकल्पों के लिए प्रोत्साहन, हरित नवाचार हेतु वित्तीय सहायता, कर-प्रणाली में सुधार, और सार्वजनिक खरीद में पर्यावरणीय मानकों का समावेश भी करना होता है। सरकारें यदि हरित रसायन और कम-विषाक्त उत्पादों के लिए प्रोत्साहन-नीतियाँ विकसित करें, तो उद्योगों के लिए संक्रमण आसान हो सकता है। इसके अतिरिक्त जोखिम-संचार, निगरानी प्रणालियाँ, संदूषित स्थलों का पुनर्वास, और स्थानीय निकायों को प्रशिक्षण एवं संसाधन उपलब्ध कराना भी महत्त्वपूर्ण है।

6.3.3 समाज की भूमिका: उपभोक्ता जागरूकता, इको-लेबलिंग और हरित क्रय

समाज और उपभोक्ता व्यवहार रासायनिक सुरक्षा की दिशा में अत्यंत प्रभावशाली भूमिका निभा सकते हैं। यदि उपभोक्ता उत्पादों के घटकों, लेबल, पुनर्चक्रण-योग्यता, विषाक्तता और पर्यावरणीय प्रभाव के प्रति जागरूक हों, तो वे अधिक सुरक्षित विकल्पों की मांग उत्पन्न कर सकते हैं। यही मांग बाजार को परिवर्तित करने की शक्ति रखती है। उपभोक्ता जागरूकता का अर्थ केवल "रसायन-मुक्त" या "प्राकृतिक" जैसे विपणन दावों पर विश्वास करना नहीं है, बल्कि यह समझ विकसित करना है कि कौन-से घटक चिंताजनक हो सकते हैं, कौन-से उत्पाद अनावश्यक हैं, और कौन-से व्यवहार संपर्क को कम कर सकते हैं। इको-लेबलिंग इस प्रक्रिया में महत्त्वपूर्ण उपकरण है। जब उत्पादों पर प्रमाणित पर्यावरणीय या स्वास्थ्य-सुरक्षा संकेतक दिए जाते हैं, तो उपभोक्ता अधिक सूचित निर्णय ले सकते हैं। किंतु इको-लेबलिंग विश्वसनीय, पारदर्शी और वैज्ञानिक मानदंडों पर आधारित होनी चाहिए; अन्यथा यह केवल ग्रीनवॉशिंग का माध्यम बन सकती है। हरित क्रय, चाहे व्यक्तिगत स्तर पर हो या संस्थागत स्तर पर, सुरक्षित विकल्पों को बढ़ावा देने का एक व्यवहारिक तरीका है। विद्यालय, अस्पताल, कार्यालय, स्थानीय निकाय और सरकारी संस्थान यदि कम-विषाक्त, पुनर्चक्रण-योग्य और पर्यावरण-अनुकूल उत्पादों को प्राथमिकता दें, तो इसका व्यापक बाजार-स्तरीय प्रभाव उत्पन्न हो सकता है।

6.4 शमन रणनीतियाँ: बहु-स्तरीय कार्ययोजना

विषैले रसायनों के जोखिम को कम करने के लिए शमन रणनीतियाँ बहु-स्तरीय होनी चाहिए। प्रथम, स्रोत-स्तर पर हानिकारक रसायनों के उपयोग को घटाना या समाप्त करना आवश्यक है। द्वितीय, उत्पाद-डिजाइन में सुरक्षित विकल्पों और पुनर्चक्रण-उन्मुख संरचना को शामिल करना चाहिए। तृतीय, उत्पादन-स्तर पर स्वच्छ तकनीकों और उत्सर्जन नियंत्रण को मजबूत करना होगा। चतुर्थ, अपशिष्ट प्रबंधन को औपचारिक, सुरक्षित और वैज्ञानिक बनाना होगा, विशेषकर प्लास्टिक और ई-कचरे के मामले में। पंचम, निगरानी और अनुसंधान के माध्यम से उभरते रासायनिक जोखिमों की पहचान समय रहते करनी होगी। षष्ठ, उपभोक्ता शिक्षा और सार्वजनिक स्वास्थ्य संचार को सुदृढ़ बनाना होगा ताकि जोखिम-न्यूनन केवल नीति का नहीं, बल्कि व्यवहार का भी हिस्सा बने।

6.5 समेकित निष्कर्ष

सुरक्षित विकल्पों और नियामक नीतियों की चर्चा से यह स्पष्ट होता है कि रासायनिक जोखिमों का प्रभावी प्रबंधन केवल प्रतिबंध आधारित नहीं हो सकता। इसके लिए एक ऐसी समेकित व्यवस्था की आवश्यकता है जिसमें हरित रसायन, जैव-आधारित सामग्री, जीवन-चक्र मूल्यांकन, सुदृढ़ नीति, प्रभावी प्रवर्तन, उद्योग उत्तरदायित्व, EPR, स्वच्छ उत्पादन, इको-लेबलिंग और उपभोक्ता सहभागिता एक-दूसरे के पूरक के रूप में कार्य करें। यदि सुरक्षित विकल्पों का विकास वैज्ञानिक मूल्यांकन के साथ किया जाए और उन्हें नीति तथा बाजार के स्तर पर संस्थागत समर्थन मिले, तो दैनिक जीवन में विषैले रसायनों के संपर्क को उल्लेखनीय रूप से कम किया जा सकता है। यही मार्ग सार्वजनिक स्वास्थ्य, पर्यावरणीय सुरक्षा और सतत विकास के बीच संतुलित संक्रमण की आधारशिला रखता है।

संदर्भ (References)

1. Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.

2. Bergman, Å., Heindel, J. J., Jobling, S., Kidd, K. A., & Zoeller, R. T. (Eds.). (2013). *State of the science of endocrine disrupting chemicals 2012*. UNEP/WHO.
3. Bickers, D. R., Calow, P., Greim, H. A., Hanifin, J. M., Rogers, A. E., Saurat, J. H., ... & Smith, R. L. (2003). The safety assessment of fragrance materials. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *37*(2), 218–273. https://doi.org/10.1016/S0273-2300(02)00046-9
4. Boberg, J., Taxvig, C., Christiansen, S., & Hass, U. (2010). Possible endocrine disrupting effects of parabens and their metabolites. *Reproductive Toxicology*, *30*(2), 301–312. https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2010.03.011
5. Calafat, A. M., Ye, X., Wong, L. Y., Reidy, J. A., & Needham, L. L. (2008). Exposure of the U.S. population to bisphenol A and 4-tertiary-octylphenol: 2003–2004. *Environmental Health Perspectives*, *116*(1), 39–44. https://doi.org/10.1289/ehp.10753
6. Carpenter, D. O., Arcaro, K., & Spink, D. C. (2002). Understanding the human health effects of chemical mixtures. *Environmental Health Perspectives*, *110*(Suppl 1), 25–42. https://doi.org/10.1289/ehp.02110s125
7. Colborn, T., Dumanoski, D., & Myers, J. P. (2003). *Our stolen future*. Plume.
8. Correll, D. L. (1998). The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of Environmental Quality*, *27*(2), 261–266.
9. Dann, A. B., & Hontela, A. (2011). Triclosan: Environmental exposure, toxicity and mechanisms of action. *Journal of Applied Toxicology*, *31*(4), 285–311. https://doi.org/10.1002/jat.1660
10. Darbre, P. D., & Harvey, P. W. (2008). Paraben esters: Review of recent studies of endocrine toxicity, absorption, esterase and human exposure, and discussion of potential human health risks. *Journal of Applied Toxicology*, *28*(5), 561–578. https://doi.org/10.1002/jat.1358
11. de Wit, C. A. (2002). An overview of brominated flame retardants in the environment. *Chemosphere*, *46*(5), 583–624.
12. de Wit, C. A., Herzke, D., & Vorkamp, K. (2010). Brominated flame retardants in the Arctic environment—trends and new candidates. *Science of the Total Environment*, *408*(15), 2885–2918.
13. Diamanti-Kandarakis, E., Bourguignon, J. P., Giudice, L. C., Hauser, R., Prins, G. S., Soto, A. M., ... & Gore, A. C. (2009). Endocrine-disrupting chemicals: An Endocrine Society scientific statement. *Endocrine Reviews*, *30*(4), 293–342. https://doi.org/10.1210/er.2009-0002
14. Dodson, R. E., Nishioka, M., Standley, L. J., Perovich, L. J., Brody, J. G., & Rudel, R. A. (2012). Endocrine disruptors and asthma-associated chemicals in consumer products. *Environmental Health Perspectives*, *120*(7), 935–943.
15. Eskenazi, B., Huen, K., Marks, A., Harley, K. G., Bradman, A., Barr, D. B., & Holland, N. (2008). Pesticide toxicity and the developing brain. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, *102*(2), 228–236.
16. Gee, G. C., & Payne-Sturges, D. C. (2004). Environmental health disparities: A framework integrating psychosocial and environmental concepts. *Environmental Health Perspectives*, *112*(17), 1645–1653.
17. Geiser, K. (2001). *Materials matter: Toward a sustainable materials policy*. MIT Press.
18. Giesy, J. P., & Kannan, K. (2002). Perfluorochemical surfactants in the environment. *Environmental Science & Technology*, *36*(7), 146A–152A.
19. Grant, K., Goldizen, F. C., Sly, P. D., Brune, M. N., Neira, M., van den Berg, M., & Norman, R. E. (2013). Health consequences of exposure to e-waste: A systematic review. *The Lancet Global Health*, *1*(6), e350–e361.
20. Guart, A., Bono-Blay, F., Borrell, A., & Lacorte, S. (2011). Migration of plasticizers phthalates, bisphenol A and alkylphenols from plastic containers and evaluation of risk. *Food Additives & Contaminants*, *28*(5), 676–685.
21. Guo, Y., & Kannan, K. (2011). Comparative assessment of human exposure to phthalate esters from house dust in China and the United States. *Environmental Science & Technology*, *45*(8), 3788–3794.

22. Halden, R. U., & Paull, D. H. (2005). Co-occurrence of triclocarban and triclosan in U.S. water resources. *Environmental Science & Technology*, *39*(6), 1420–1426.
23. Haug, L. S., Huber, S., Becher, G., & Thomsen, C. (2010). Characterisation of human exposure pathways to perfluorinated compounds—comparing exposure estimates with biomarkers of exposure. *Environment International*, *37*(4), 687–693.
24. Houde, M., Martin, J. W., Letcher, R. J., Solomon, K. R., & Muir, D. C. G. (2006). Biological monitoring of polyfluoroalkyl substances: A review. *Environmental Science & Technology*, *40*(11), 3463–3473.
25. Jacobs, M. M., Malloy, T. F., Tickner, J. A., & Edwards, S. (2009). Alternatives assessment frameworks: Research needs for the informed substitution of hazardous chemicals. *Environmental Health Perspectives*, *117*(11), 1664–1670.
26. Jones-Otazo, H. A., Clarke, J. P., Diamond, M. L., Archbold, J. A., Ferguson, G., Harner, T., ... & Wilford, B. (2005). Is house dust the missing exposure pathway for PBDEs? *Environmental Science & Technology*, *39*(14), 5121–5130.
27. Koch, H. M., & Calafat, A. M. (2009). Human body burdens of chemicals used in plastic manufacture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 2063–2078.
28. Kortenkamp, A. (2007). Ten years of mixing cocktails: A review of combination effects of endocrine-disrupting chemicals. *Environmental Health Perspectives*, *115*(Suppl 1), 98–105.
29. Landrigan, P. J., Kimmel, C. A., Correa, A., & Eskenazi, B. (2004). Children's health and the environment: Public health issues and challenges for risk assessment. *Environmental Health Perspectives*, *112*(2), 257–265.
30. Lau, C., Anitole, K., Hodes, C., Lai, D., Pfahles-Hutchens, A., & Seed, J. (2007). Perfluoroalkyl acids: A review of monitoring and toxicological findings. *Toxicological Sciences*, *99*(2), 366–394.
31. Meeker, J. D., Sathyanarayana, S., & Swan, S. H. (2009). Phthalates and other additives in plastics: Human exposure and associated health outcomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1526), 2097–2113.
32. Morello-Frosch, R., Pastor, M., Porras, C., & Sadd, J. (2001). Environmental justice and regional inequality in southern California. *Environmental Health Perspectives*, *109*(Suppl 2), 149–154.
33. Muir, D. C. G., & Howard, P. H. (2006). Are there other persistent organic pollutants? A challenge for environmental chemists. *Environmental Science & Technology*, *40*(23), 7157–7166.
34. Nazaroff, W. W., & Weschler, C. J. (2004). Cleaning products and air fresheners: Exposure to primary and secondary air pollutants. *Atmospheric Environment*, *38*(18), 2841–2865.
35. Needham, L. L., Barr, D. B., Caudill, S. P., Pirkle, J. L., Turner, W. E., Osterloh, J., ... & Sampson, E. J. (2005). Concentrations of environmental chemicals associated with neurodevelopmental effects in U.S. population. *NeuroToxicology*, *26*(4), 531–545.
36. Post, G. B., Cohn, P. D., & Cooper, K. R. (2012). Perfluorooctanoic acid (PFOA), an emerging drinking water contaminant. *Environmental Research*, *116*, 93–117.
37. Robinson, B. H. (2009). E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, *408*(2), 183–191.
38. Rochester, J. R. (2013). Bisphenol A and human health: A review of the literature. *Reproductive Toxicology*, *42*, 132–155.
39. Rochman, C. M., Hoh, E., Hentschel, B. T., & Kaye, S. (2013). Long-term field measurement of sorption of organic contaminants to five types of plastic pellets. *Environmental Science & Technology*, *47*(3), 1646–1654.
40. Rubin, B. S. (2011). Bisphenol A: An endocrine disruptor with widespread exposure and multiple effects. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, *127*(1–2), 27–34.

41. Rudel, R. A., Camann, D. E., Spengler, J. D., Korn, L. R., & Brody, J. G. (2003). Phthalates, alkylphenols, pesticides, polybrominated diphenyl ethers, and other endocrine-disrupting compounds in indoor air and dust. *Environmental Science & Technology*, *37*(20), 4543–4553.
42. Sathyanarayana, S. (2008). Phthalates and children's health. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, *38*(2), 34–49.
43. Schecter, A., Malik, N., Haffner, D., Smith, S., Harris, T. R., Paepke, O., & Birnbaum, L. (2010). Bisphenol A (BPA) in U.S. food. *Environmental Science & Technology*, *44*(24), 9425–9430.
44. Schettler, T. (2006). Human exposure to phthalates via consumer products. *International Journal of Andrology*, *29*(1), 134–139.
45. Singer, B. C., Destaillats, H., Hodgson, A. T., & Nazaroff, W. W. (2006). Cleaning products and air fresheners as sources of indoor air pollutants. *Atmospheric Environment*, *40*(35), 6696–6710.
46. Sjödin, A., Jones, R. S., Focant, J. F., Lapeza, C., Wang, R. Y., McGahee, E. E., ... & Patterson, D. G. Jr. (2008). Retrospective time-trend study of PBDEs in human serum. *Environmental Health Perspectives*, *112*(6), 654–658.
47. Steenland, K., Fletcher, T., & Savitz, D. A. (2010). Epidemiologic evidence on the health effects of perfluorooctanoic acid (PFOA). *Environmental Health Perspectives*, *118*(8), 1100–1108.
48. Steinemann, A. (2009). Fragranced consumer products and undisclosed ingredients. *Environmental Impact Assessment Review*, *29*(1), 32–38.
49. Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*, *101*, 133–164.
50. Tickner, J. A., Schifano, J. N., Blake, A., & Rudisill, C. (2000). *The promise of green chemistry in Massachusetts*. Toxics Use Reduction Institute.
51. Vandenberg, L. N., Hauser, R., Marcus, M., Olea, N., & Welshons, W. V. (2007). Human exposure to bisphenol A (BPA). *Reproductive Toxicology*, *24*(2), 139–177.
52. Wania, F. (2007). A global mass balance analysis of the source of perfluorocarboxylic acids in the Arctic Ocean. *Environmental Science & Technology*, *41*(13), 4529–4535.
53. Weschler, C. J. (2009). Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmospheric Environment*, *43*(1), 153–169.
54. Whyatt, R. M., Camann, D., Kinney, P. L., Reyes, A., Ramirez, J., Dietrich, J., ... & Rauh, V. A. (2002). Residential pesticide use during pregnancy among a cohort of urban minority women. *Environmental Health Perspectives*, *110*(5), 507–514.
55. Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., & Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, *25*(5), 436–458.
56. Wilson, M. P., & Schwarzman, M. R. (2009). Toward a new U.S. chemicals policy: Rebuilding the foundation to advance new science, green chemistry, and environmental health. *Environmental Health Perspectives*, *117*(8), 1202–1209.
57. Wolkoff, P., Clausen, P. A., Wilkins, C. K., & Nielsen, G. D. (1998). Formation of strong airway irritants in terpene/ozone mixtures. *Indoor Air*, *10*(2), 82–91.
58. Woodruff, T. J., Zota, A. R., & Schwartz, J. M. (2011). Environmental chemicals in pregnant women in the United States: NHANES 2003–2004. *Environmental Health Perspectives*, *119*(6), 878–885.
59. Wormuth, M., Scheringer, M., Vollenweider, M., & Hungerbühler, K. (2006). What are the sources of exposure to eight frequently used phthalic acid esters? *Risk Analysis*, *26*(3), 803–824.