

# रासायनिक अभियांत्रिकीसाठी नवीन दिशानिर्देश

प्रा.(डॉ.) किरण पाटील

## 1. ऐतिहासिक दृष्टीकोन:

रासायनिक अभियांत्रिकी क्षेत्राची संकल्पना डेमोक्रीटस या ग्रीक तत्त्ववेत्त्याने केली होती, ज्याने इ.स.पूर्व ४४० च्या सुमारास अणूची संकल्पना मांडली होती, ही घटना तांत्रिकदृष्ट्या रसायनशास्त्राशी संबंधित आहे. अणूच्या संकल्पनेने रसायनशास्त्रात युगानुयुगे आणखी प्रगती केली, ज्याचा परिणाम औद्योगिक रसायनशास्त्राच्या आगमनात झाला. रासायनिक अभियांत्रिकीची कहाणी खऱ्या अर्थाने सुरू होते ते औद्योगिक रसायनशास्त्र. औद्योगिक क्रांतीमुळे औद्योगिक रसायनांची मागणी वाढली, ज्यामुळे बॅच उत्पादनाच्या मर्यादित संसाधनांवर ताण पडला. उपाय लवकरच आला, कारण समाज बॅच उत्पादनापासून दूर गेला आणि सतत उत्पादनाकडे वळला, जसे की असेंब्ली लाइनद्वारे शक्य आहे. यामुळे कमी खर्चात अधिक उत्पादनांचे उत्पादन करणे शक्य झाले. परिणामी, नवीन औद्योगिक जगाच्या गरजा पूर्ण करण्यासाठी पुरेशी औद्योगिक रसायने तयार केली जाऊ शकतात. मोठ्या प्रमाणावर उत्पादन औद्योगिक रसायनशास्त्राची संकल्पना रासायनिक आणि भौतिक प्रक्रिया वापरून कच्च्या मालापासून मौल्यवान उत्पादने तयार करण्याची प्रक्रिया म्हणून परिभाषित केली गेली. या प्रक्रिया विकसित करणे आणि नियंत्रित करणे, दुसरीकडे, स्वतंत्र कार्ये म्हणून पाहिले गेले. हे वेगळे क्षेत्र कालांतराने "केमिकल अभियांत्रिकी" म्हणून ओळखले जाऊ लागले.

## १.१ रासायनिक अभियांत्रिकीचे जनक: जॉर्ज ई. डेव्हिस

1878 मध्ये जेव्हा जॉर्ज ई. डेव्हिस या इंग्रजांनी केमिकल इन्स्पेक्टरच्या नोकरीत विविध रासायनिक वनस्पतींना भेट दिली तेव्हा रासायनिक अभियांत्रिकी उद्योगाचा जन्म झाला. त्याच्या भेटींमुळे त्याला युनिट ऑपरेशन्सची संकल्पना ओळखता आली, ही रासायनिक अभियांत्रिकीमधील एक मूलभूत संकल्पना जी रासायनिक प्रक्रियेला डिस्टिलेशन किंवा क्रिस्टलायझेशन सारख्या ऑपरेशन्समध्ये विभाजित करण्यास अनुमती देते. या शोधाचा परिणाम म्हणून त्याला सामान्यतः रासायनिक अभियांत्रिकीचे जनक मानले जाते. त्यांनी "केमिकल इंजिनीअरिंग" हा शब्द तयार केला होता, ज्याचा वापर त्यांनी रासायनिक उद्योगातील आव्हानांना सामोरे जाणाऱ्या अभियांत्रिकीच्या शाखेची व्याख्या करण्यासाठी केला होता. डेव्हिस यांनी रासायनिक अभियांत्रिकी क्षेत्रात अनेक योगदान दिले आहे. त्यांच्या कन्सल्टिंग व्यवसायातून त्यांना केमिकल इंजिनीअरिंगच्या संकल्पनांमध्ये पारंगत झाले. परिणामी, त्यांनी 1887 मध्ये केमिकल ट्रेड जर्नल सुरू केले, जिथे त्यांनी त्यांच्या रासायनिक अभियांत्रिकी संकल्पना नियमितपणे प्रकाशित केल्या. डेव्हिसचे सल्लागार कार्य आणि व्याख्यान मालिकेतील सामग्रीने 1901 मध्ये प्रसिद्ध झालेल्या द हँडबुक ऑफ केमिकल इंजिनीअरिंग या त्यांच्या सर्वात प्रसिद्ध प्रकाशनाचा आधार तयार केला. या पाठ्यपुस्तकाने इतर गोष्टींबरोबरच युनिट ऑपरेशन्सची संकल्पना मांडली आणि त्यांनी प्रथमच या पुस्तकाचा वापर केला. शब्द "केमिकल इंजिनीअरिंग." डेव्हिसने सोसायटी ऑफ केमिकल इंडस्ट्री, लंडनस्थित केमिस्ट सोसायटीचे नाव बदलून सोसायटी ऑफ केमिकल इंजिनीअर्स करण्याचा प्रयत्न केला. अमेरिकन इन्स्टिट्यूट ऑफ केमिकल इंजिनीअर्स आणि इन्स्टिट्यूट ऑफ केमिकल इंजिनीअर्स या दोन आजच्या काळातील सर्वात प्रसिद्ध आहेत.

## १.१.२ केमिकल इंजिनीअरिंगला व्यवसाय म्हणून मान्यता देणे

औद्योगिक रसायनशास्त्र आणि रसायनशास्त्राच्या इतर क्षेत्रांमध्ये अभ्यासक्रम होते, परंतु रासायनिक अभियांत्रिकी विषयांना थेट संबोधित करणारे कोणतेही अभ्यासक्रम नव्हते. मॅसॅच्युसेट्स इन्स्टिट्यूट ऑफ टेक्नॉलॉजी येथील रसायनशास्त्राचे प्राध्यापक लुईस एम. नॉर्टन यांनी 1888 मध्ये जगातील पहिला चार वर्षांचा रासायनिक अभियांत्रिकी अभ्यासक्रम तयार केला. जर्मन रासायनिक प्रक्रिया उद्योगाचा विकास आणि डेव्हिसच्या व्याख्यानमालेने त्यांना प्रेरणा दिली. आउटलाइन ऑफ इंडस्ट्रियल केमिस्ट्री, हे त्यांचे पहिले रासायनिक अभियांत्रिकी पाठ्यपुस्तक 1898 मध्ये प्रकाशित झाले. डेव्हिसला रासायनिक अभियांत्रिकीचे जनक म्हणून ओळखले जाते, तर नॉर्टन आणि थॉर्प हे रासायनिक अभियांत्रिकी शिक्षणाचे जनक आहेत. रसायन अभियांत्रिकी, रासायनिक अभियांत्रिकीला समर्पित असलेले पहिले प्रकाशन, 1903 मध्ये प्रकाशित झाले. औद्योगिक रसायनशास्त्र आणि रासायनिक अभियांत्रिकी या विषयावर लेख या अंकात वैशिष्ट्यीकृत केले गेले. अमेरिकन इन्स्टिट्यूट ऑफ केमिकल इंजिनीअर्स, रासायनिक अभियांत्रिकीसाठी समर्पित असलेली पहिली संस्था, 1908 मध्ये अमेरिकन केमिकल सोसायटीच्या सदस्यांना रासायनिक अभियांत्रिकीसाठी स्वतंत्र संस्थेची आवश्यकता लक्षात आल्यानंतर स्थापना करण्यात आली. जेव्हा संस्थेची स्थापना झाली तेव्हा तिचे सदस्य 1,000 पेक्षा कमी होते; सध्या त्याचे 60,000 पेक्षा जास्त सदस्य आहेत.

### 1.1.3 रासायनिक अभियांत्रिकीचे बहुविद्याशाखीय स्वरूप

रासायनिक अभियांत्रिकी ही एकमेव अभियांत्रिकी शाखा आहे जी रेणू आणि त्यांच्या बदलांवर लक्ष केंद्रित करते, सामान्यतः रसायनशास्त्र म्हणून ओळखले जाते. रसायनशास्त्र आणि भौतिकशास्त्र, गणितासह, रासायनिक अभियांत्रिकीचे मुख्य विज्ञान होते रासायनिक अभियांत्रिकी हे रसायनशास्त्राशी आवश्यक परस्परसंवादांमुळे जैविक प्रणालींच्या अभियांत्रिकीसाठी नैसर्गिक घर आहे. रासायनिक अभियांत्रिकी आणि जीवशास्त्र यांचा परस्परसंवादाचा दीर्घ इतिहास आहे, जो विसाव्या शतकाच्या उत्तरार्धात अनुवांशिक अभियांत्रिकी साधनांच्या उदय आणि आण्विक जीवशास्त्राच्या वाढीसह लक्षणीयरीत्या विकसित झाला. अनेक क्षेत्रे (उदाहरणार्थ, बायोकेमिकल अभियांत्रिकी, चयापचय अभियांत्रिकी, ऊतक अभियांत्रिकी आणि सिंथेटिक जीवशास्त्र) रासायनिक अभियांत्रिकीच्या परिणामी किंवा रासायनिक अभियंत्यांच्या महत्त्वपूर्ण योगदानामुळे विकसित झाली आहेत. क्षेत्रावरील जीवशास्त्राच्या वाढत्या प्रभावामुळे अनेक शैक्षणिक विभागांनी त्यांची नावे बदलून "केमिकल" अभियांत्रिकी व्यतिरिक्त "बायो" चे काही प्रकार समाविष्ट केले आहेत.

रासायनिक अभियांत्रिकी म्हणजे आण्विक ते मॅक्रोस्कोपिक पर्यंत वेगवेगळ्या स्केलवर प्रणालींचे डिझाइन आणि उत्पादन, जे सामाजिक फायद्यासाठी प्रक्रिया आणि सामग्री विकसित करण्यासाठी रासायनिक, भौतिक आणि जैविक घटकांना एकत्रित करते. आधुनिक समाजाला सक्षम करणाऱ्या तंत्रज्ञानाच्या केंद्रस्थानी रासायनिक परिवर्तने आहेत आणि रासायनिक अभियंत्यांच्या कार्याचा समाज आणि वैयक्तिक जीवनावर जागतिक प्रभाव पडला आहे. सिलिकॉन चिप्स, काचेचे साहित्य आणि प्लास्टिक जे आजचे सर्वव्यापी इलेक्ट्रॉनिक उपकरण बनवतात ते अनेक रासायनिक अभियंत्यांच्या योगदानाशिवाय विकसित झाले नसते. रासायनिक अभियंत्यांनी अलीकडे निर्देशित उत्क्रांतीच्या साधनांमध्ये योगदान दिले आहे, ज्यामुळे प्रथिने, चयापचय मार्ग आणि जीनोममधील सुधारित कार्याचे अभियांत्रिकी सक्षम होते.

### 2. रासायनिक अभियांत्रिकीची भूमिका:

रासायनिक अभियंते कमीत कमी एक शतकापासून अणुभट्टीची रचना आणि पृथक्करणात गुंतलेले आहेत, आणि अलीकडे सेल अभियांत्रिकी, फॉर्म्युलेशन आणि औषध निर्मितीच्या इतर पैलूंमध्ये, आणि त्यांच्याकडे आरोग्य आणि औषधांमध्ये अनेक प्रमाणात योगदान देण्याची क्षमता आहे. आण्विक ते उत्पादन सुविधांपर्यंत. जैविक दृष्ट्या व्युत्पन्न उत्पादनांचा विकास जैविक जीवांपासून लहान रेणूंना वेगळे करण्याचा आणि नियंत्रण आणि सेल वर्तणुकीच्या नमुन्यांची पुनर्रचना करण्याच्या पहिल्या प्रयत्नांपासून वाढला आहे, ज्यामध्ये रीकॉम्बिनेंटच्या परिणामी मोठ्या प्रगती होत आहेत. डीएनए तंत्रज्ञान, जीनोम सिक्वेन्सिंग, पॉलिमरेज चेन रिअॅक्शनचा विकास, प्रेरित प्लुरिपोटेंट स्टेम पेशींचा शोध आणि जनुक संपादनाचा शोध आणि अंमलबजावणी ही सर्व रासायनिक अभियांत्रिकीतील प्रगतीची उदाहरणे आहेत.

2050 पर्यंत पृथ्वीची लोकसंख्या 9 अब्जांपर्यंत पोहोचण्याचा अंदाज आहे, परिणामी अन्न मागणीत 60% वाढ, ऊर्जेच्या मागणीत 80% वाढ आणि पाण्याच्या मागणीत 55% वाढ होईल. अन्न, ऊर्जा आणि पाणी हे सर्व एकमेकांशी घट्टपणे गुंतलेले आहेत, एकाचे उत्पादन किंवा उपभोग थेट दुसऱ्याच्या उत्पादनाशी किंवा वापराशी जोडलेले आहेत. कृषी पिके जैवइंधन तयार करतात आणि प्राणी आणि मानवांना अन्न देखील देतात. ऊर्जा शुद्ध करण्यासाठी, वाहतूक करण्यासाठी, उष्णता किंवा थंड पाणी वापरण्यासाठी वापरली जाते; खते तयार करण्यासाठी; आणि शेतातील यंत्रसामग्री, अन्न प्रक्रिया आणि स्वयंपाक करण्यासाठी. ऊर्जा उत्पादनासाठी वळवलेली जमीन आणि पाणी यापुढे अन्न उत्पादनासाठी उपलब्ध नाही आणि त्याउलट. इंधन आणि वीज निर्मिती तसेच शेती, अन्न प्रक्रिया, पशुधन आणि स्वयंपाकासाठी पाण्याचा वापर केला जातो. इतर विषयांनी पारंपारिकपणे पाणी, अन्न आणि हवा यावर लक्ष केंद्रित केले आहे, तर रासायनिक अभियंते या अत्यंत परस्परसंबंधित जागेत अग्रगण्य प्रयत्नांसाठी आण्विक आणि प्रणाली-स्तरीय विचार दोन्ही आणतात. रासायनिक अभियंत्यांचा सकारात्मक प्रभाव वाढविला जाईल कारण ते जागतिक स्तरावर पाणी-ऊर्जा-अन्न संबंधांवर लक्ष केंद्रित करण्यासाठी पारंपारिक युनिट ऑपरेशन स्केलच्या पलीकडे विचार करण्यास अनुकूल होतात.

### 2.1 कोविड-19 महामारीमध्ये केमिकल इंजिनिअर्सचे योगदान:

कोविड-19 लसीचा जलद विकास हे वैद्यकीय गरजा पूर्ण करण्यासाठी अभियांत्रिकी आणि जीवशास्त्राच्या एकत्रीकरणाच्या अलीकडील इतिहासातील सर्वात लक्षणीय उदाहरणांपैकी एक आहे. लस विकसित केल्या गेल्या, प्रीक्लिनिकल प्राणी आणि क्लिनिकल मानवी चाचण्यांमध्ये तपासल्या गेल्या आणि एका वर्षापेक्षा कमी कालावधीत मोठ्या प्रमाणात उत्पादन केले गेले. आरएनए एक मॉड्यूलर आणि विशिष्ट माहिती रेणू आहे. विशिष्ट जीवशास्त्रातील प्रत्येक प्रथिने औषध एक अद्वितीय रेणू आहे ज्याला महत्त्वपूर्ण फॉर्म्युलेशन अनुकूलन आवश्यक आहे. मेसेंजर RNA (mRNA) हा एक कोडेड रेणू आहे, याचा अर्थ जेव्हा औषध बदलले जाते तेव्हा फक्त RNA क्रम बदलतो, तर औषधाच्या रेणूचे भौतिक आणि रासायनिक गुणधर्म अपरिवर्तित राहतात. याचे कारण असे की रोगप्रतिकारक लक्ष्य देखील एक कोड आहे आणि लक्ष्य प्रतिजैविक आण्विक अनुक्रमाची प्रतिकृती तयार करणे आहे, ज्यामुळे ते लसींसाठी योग्य आहे.

आता, कोविड-19 युगात, रासायनिक अभियंते, विशेषतः पर्यावरण विज्ञान आणि तंत्रज्ञानामध्ये इतर शास्त्रज्ञ आणि अभियंते यांच्यासोबत सहकार्य करणाऱ्यांना, सामाजिक आरोग्य आणि कल्याणासाठी योगदान देण्याची तसेच विकसित आणि विकास यांच्यातील अंतर कमी करण्याच्या संधी आहेत. विकसनशील देश. हँड सॅनिटायझर्स आणि संबंधित ग्राहक/क्लीन्सर उत्पादने हे स्वच्छतेचे आणखी एक पैलू आहेत ज्याने COVID-19 महामारी दरम्यान लोकप्रियता मिळवली आहे, ज्यामध्ये रासायनिक अभियांत्रिकी महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावते, विशेषतः प्रतिजैविक/अँटीव्हायरल परिणामकारकता, उत्पादन सुरक्षा आणि पर्यावरणीय प्रभाव संतुलित करण्यात.

## 2.4 आव्हाने आणि संधी

आधुनिक द्विमोलेक्युलर अभियांत्रिकी हे रासायनिक अभियांत्रिकी, आण्विक जीवशास्त्र, बायोकेमिस्ट्री, मटेरियल सायन्स आणि औषध यांच्याशी जोरदारपणे जोडलेले आहे. आरोग्य आणि औषधी अनुप्रयोगांसाठी सध्याच्या आव्हानांमध्ये वैयक्तिक औषध आणि प्रथिने, न्यूक्लिक ॲसिड आणि इतर घटक जसे की व्हायरस आणि पेशी यासारख्या जैविक रेणूंचे अभियांत्रिकी विकसित करणे समाविष्ट आहे; साहित्य आणि उपकरणे आणि आरोग्य यांच्यातील इंटरफेस ब्रिजिंग; जैविक नेटवर्क आणि डेटा सायन्स आणि मशीन लर्निंगसह छेदनबिंदू समजून घेण्यासाठी सिस्टम्स आणि सिंथेटिक बायोलॉजीमधील साधनांचा वापर सुधारणे; आणि आंतरविद्याशाखीय संशोधनातील पुढील चरण विकसित करणे. ही सर्व आव्हाने रासायनिक अभियंत्यांना सिस्टीम-स्तरीय दृष्टिकोन लागू करण्यासाठी आणि विविध विषयांमध्ये सहयोग करण्याची संधी देतात. कर्करोग इम्युनोथेरापी, लस डिझाइन आणि संसर्गजन्य रोग आणि स्वयंप्रतिकार विकारांसाठी उपचारात्मक उपचार ही सर्व क्षेत्रे आहेत जिथे इम्यूनोलॉजीमध्ये परिमाणवाचक रासायनिक अभियांत्रिकी कौशल्ये वापरली जाऊ शकतात. पूर्णपणे नॉन-आक्रमक औषध वितरण पद्धतींचा विकास डिव्हाइस- आणि सामग्री-आधारित धोरणांमध्ये एक रोमांचक सीमा दर्शवितो. शाश्वत-रिलीज डेपो आणि लक्षित उपचारात्मक वितरणामध्ये संशोधन करण्यासाठी केमिकल अभियंते देखील चांगल्या स्थितीत आहेत.

## 3. लवचिक उत्पादन आणि परिपत्रक अर्थव्यवस्था:

रासायनिक अभियांत्रिकीची शिस्त व्यापकपणे वास्तववादी, किफायतशीर, कार्यक्षम आणि सुरक्षित भौतिक आणि रासायनिक रूपांतर अधिक उपयुक्त रेणू किंवा सामग्रीमध्ये सक्षम करण्याशी संबंधित आहे. रासायनिक अभियांत्रिकीमुळे गेल्या शतकात आधुनिक समाजाच्या संपूर्ण लँडस्केपचे आणि ग्रहाचे परिवर्तन शक्य झाले. रासायनिक अभियंत्यांनी गेल्या शतकात अर्थव्यवस्थेच्या सर्व क्षेत्रांमध्ये उत्पादनात बदल घडवून आणला. कृषी रसायने आणि खते, सिमेंट, ग्राहकोपयोगी वस्तू, फ्लेवर्स आणि सुगंध, अन्न आणि खाद्य, इंधन, रंग आणि कोटिंग्ज, कागद आणि लगदा, फार्मास्युटिकल्स आणि बायोलॉजिक्स, पॉलिमर, सेमीकंडक्टर आणि इतर अनेक उद्योग यापैकी आहेत. उत्पादनातील रासायनिक अभियांत्रिकीचे महत्त्व लक्षात घेता, रासायनिक अभियंत्यांना पर्यावरणीय शाश्वतता वाढविण्याच्या भरपूर संधी आहेत. अन्न आणि जैविक सामग्री (उदाहरणार्थ, लाकूड) पुनर्वापर प्रक्रियेद्वारे प्रणालीमध्ये पुनर्वापर केले जाते जसे की कंपोस्टिंग आणि ऍनेरोबिक पचन, ज्यामुळे मातीसारख्या जिवंत प्रणालींचे पुनरुत्पादन होते. रीसायकलिंग, पुनर्वापर, दुरुस्ती आणि पुनर्निर्मिती यासारख्या धोरणांमुळे तांत्रिक चक्रातील उत्पादने, घटक आणि सामग्रीची पुनर्प्राप्ती आणि पुनर्संचयित करणे सुलभ होते.

## 4. 21 व्या शतकासाठी कादंबरी आणि सुधारित साहित्य :

रासायनिक अभियंते रचना, संश्लेषण, प्रक्रिया, उत्पादन आणि शेवटी सर्व प्रकारच्या सामग्रीची विल्हेवाट लावण्यामध्ये खोलवर गुंतलेले असतात आणि साहित्य विज्ञान आणि रासायनिक अभियांत्रिकी यांच्यातील संबंध वैविध्यपूर्ण आणि गुंतागुंतीचे असतात. रासायनिक अभियंत्यांनी सामग्रीच्या डिझाइन आणि विकासामध्ये लक्षणीय प्रगती केली आहे. सेल्युलोज एसीटेटपासून बनविलेले आणि 1950 च्या दशकात रासायनिक अभियंत्यांनी विकसित केलेले पाण्याचे विलवणीकरण करण्यासाठी रिव्हर्स ऑस्मोसिस मेम्ब्रेन हे एक उदाहरण आहे. पुनर्जन्म अभियांत्रिकी आणि औषध वितरणामध्ये वापरल्या जाणाऱ्या अनेक पॉलिमरिक साहित्य अनेक वर्षांच्या कालावधीत रासायनिक अभियंत्यांच्या प्रयोगशाळांमधून बाहेर आले आहेत. रासायनिक अभियंते साहित्य प्रकार आणि अनुप्रयोगांच्या विस्तृत श्रेणीमध्ये सामग्रीच्या विकासासाठी योगदान देऊ शकतात. रासायनिक अभियंते पुनर्जन्म अभियांत्रिकी आणि ऑर्गन-ऑन-ए-चिप तंत्रज्ञानासाठी बायोमटेरिअल्सच्या विकासामध्ये अत्यावश्यक भूमिका बजावतात. इलेक्ट्रॉनिक कचरा हा एक समान आर्थिक आणि पर्यावरणीय ओझे आहे आणि तो प्लास्टिकपेक्षाही अधिक क्लिष्ट आहे. मोबाईल फोन आणि वैयक्तिक संगणकांसारख्या ग्राहक उत्पादनांमध्ये एक हजारहून अधिक विविध रासायनिक उत्पादने असतात. जागतिक घनकचरा प्रवाहाचा सर्वात वेगाने वाढणारा विभाग म्हणजे इलेक्ट्रॉनिक्स आणि इलेक्ट्रिकल कचरा.

## 5. रासायनिक अभियांत्रिकीचे भविष्य सक्षम करण्यासाठी साधने:

भविष्यातील रासायनिक अभियंत्यांना नैसर्गिक जग आणि त्याचे वर्णन करणारा डेटा यांच्यातील इंटरफेस नेव्हिगेट करावे लागेल, तसेच डेटाला उपयुक्त माहिती, ज्ञान आणि समज मध्ये रूपांतरित करणारी उपकरणे वापरावी लागतील. काही साधने आणि क्षमता स्थिर आणि अंदाजित वाढ आणि वापरासह निसर्गात अत्यंत गतिमान असतील, तर काही निसर्गात क्रांतिकारक असतील, रासायनिक अभियांत्रिकी सराव आणि संशोधन अशा प्रकारे बदलतील ज्यांचा आज अंदाज किंवा अंदाज करणे कठीण आहे.

### 5.1 डेटा सायन्स आणि कॉम्प्युटेशनल टूलस

त्याच्या स्थापनेपासून, रासायनिक अभियांत्रिकी हे डेटा-केंद्रित क्षेत्र आहे. रासायनिक उद्योगाची स्थापना थर्मोडायनामिक गुणधर्म, फेज आकृती, दर स्थिरांक, प्रवाह दर आणि उष्णता- आणि वस्तुमान-हस्तांतरण गुणांक यांसारख्या प्रायोगिक मोजमापांच्या पद्धतशीर मोजमाप आणि कॅटलॉगिंगवर करण्यात आली. अनेक श्रम-केंद्रित मोजमाप जी पूर्वी मानवाकडून केली जात होती ती आता नियमितपणे स्वयंचलित आहेत. कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI) हे एक आधुनिक डेटा विज्ञान साधन आहे जे रसायन अभियांत्रिकीसह विज्ञान आणि अभियांत्रिकीच्या सर्व क्षेत्रांमध्ये वेगाने परिवर्तन करत आहे. AI पुढील काही दशकांमध्ये सर्व उद्योग क्षेत्रांमध्ये परिवर्तन घडवून आणेल अशी अपेक्षा आहे. व्यवसाय ज्या पद्धतीने AI चा वापर करतात ते स्पर्धात्मक धार मिळविण्यासाठी एक भिन्नता असेल. पूर्वीच्या रासायनिक अभियांत्रिकी क्रांती रिडक्शनिस्ट मॉडेलसद्वारे चालविली जात असताना, पुढील क्रांती निःसंशयपणे डेटा-चालित आणि AI द्वारे समर्थित असेल.

### 5.2 रासायनिक अभियांत्रिकीमध्ये गणितीय मॉडेलिंग आणि सिम्युलेशन

गणितीय मॉडेलिंग, किंवा रचना आणि गणितीय आणि संगणकीय समीकरणे अभ्यासासाठी सोयीस्कर सरोगेट म्हणून, समजून घेण्यास सक्षम आणि अगदी भौतिक अस्तित्वाची रचना करणे, आधुनिक रासायनिक अभियंत्यासाठी एक अपरिहार्य साधन बनले. सिम्युलेशन हे अशा प्रणालींना देखील सूचित करते ज्यामध्ये अनेक परस्परसंवादी प्रजातींचे वर्णन करण्यासाठी कण परस्परसंवाद क्षमता विकसित केली जाते आणि उदयोन्मुख सामूहिक वर्तन प्रकट होते. पुढील दशकात कृत्रिम बुद्धिमत्तेच्या उत्क्रांतीमुळे रासायनिक अभियंते कोणत्या प्रकारच्या समस्यांचे निराकरण करू शकतील यावर परिणाम होईल. रासायनिक अभियंत्यांनी मॉडेलिंग आणि सिम्युलेशन टूलसच्या क्षेत्रात महत्त्वपूर्ण योगदान देणे अपेक्षित आहे ज्याचा शिक्षण, संशोधन आणि उद्योगावर परिणाम होईल. ते पद्धती, अल्गोरिदम, तंत्रे आणि मुक्त स्रोत कोड तयार करणे आणि सामायिक करणे सुरू ठेवतील. पुढील दशकात कृत्रिम बुद्धिमत्तेच्या उत्क्रांतीमुळे रासायनिक अभियंते ज्या समस्यांचे निराकरण करण्यात सक्षम असतील त्यावर परिणाम होईल.

## 6. वर्तमान आणि भविष्यातील धोके: सायबर सुरक्षा

सायबर हल्ल्यांचा धोका जो नेटवर्कला अपंग करू शकतो, शारीरिक आणि/किंवा जीवघेणे नुकसान करू शकतो किंवा मोठ्या खंडणी गोळा करण्यास सक्षम करू शकतो रासायनिक आणि जैविक प्रक्रिया वनस्पती आणि इतर पायाभूत सुविधा वाढत्या प्रमाणात इंटरनेटशी जोडल्या गेल्या आहेत आणि त्याचा भाग झाला आहे. . सर्व व्यवसाय क्षेत्रांमध्ये, बहुतेक कंपन्या सायबर सुरक्षा अतिशय गांभीर्याने घेतात. अनेकांकडे उत्पादन सुविधा, संशोधन आणि विकास (R&D) आणि कंत्राटदार निरीक्षणासाठी समर्पित मोठ्या सायबर सुरक्षा युनिट्स आहेत. यापैकी बहुतेक संघ संगणक शास्त्रज्ञांनी बनलेले आहेत, परंतु ते रासायनिक अभियंत्यांशी जवळून सहकार्य करतात जे नवीन प्रक्रिया किंवा नियंत्रण प्रणाली विकसित करत आहेत. रासायनिक अभियंत्यांना या संदर्भात नवीन सायबर सुरक्षा साधने विकसित करण्याची आवश्यकता नाही, परंतु त्यांना संगणक शास्त्रज्ञ आणि इतर सायबर सुरक्षा व्यावसायिकांशी प्रभावीपणे संवाद साधण्यास सक्षम असणे आवश्यक आहे.

## 7. रासायनिक अभियांत्रिकीचे भविष्य

जसजसे जगाची लोकसंख्या आणि तंत्रज्ञानाची प्रगती होत आहे, तसतसे ऊर्जा वापर आणि अन्न उत्पादन या आव्हानात्मक समस्यांचे निराकरण करण्यात मदत करण्यासाठी रासायनिक अभियंत्यांच्या ज्ञानाची आवश्यकता असेल. रासायनिक अभियंत्यांकडे शोध, सर्जनशीलता किंवा कल्पनाशक्तीची कमतरता नाही, जी या समस्या सोडवण्यासाठी आवश्यक असेल. रासायनिक अभियंत्यांची कौशल्ये अनेक क्षेत्रांमध्ये मोठ्या प्रमाणावर लागू होतात; त्यामुळे उदयोन्मुख भागातही त्यांचे मनापासून स्वागत केले जाईल. केमिकल अभियंत्यांचे क्षितिजावर सतत नवीन तंत्रज्ञानासह, त्यांच्यापुढे नेहमीच रोमांचक कारकीर्द असेल! उद्योग आणि संशोधन या दोन्ही क्षेत्रांमध्ये रासायनिक अभियांत्रिकीचे भविष्य आशादायक आहे.

आजच्या विकसनशील देशांमध्ये, वाढती आर्थिक शक्ती आणि मध्यमवर्गाचा उदय यामुळे अधिक सामग्री, ऊर्जा, उत्पादने आणि तंत्रज्ञानाची मागणी वाढेल; साहित्य उत्पादनाच्या नवीन, अधिक कार्यक्षम पद्धती; प्रक्रिया तीव्रता, ऊर्जा तीव्रता

सुधारणा आणि शून्य-उत्सर्जन तंत्रज्ञान. ग्राहक, समाज आणि नियामक संस्था या सर्वांना उच्च कार्बन कार्यक्षमतेची आणि कमी पर्यावरणीय उत्सर्जनाची आवश्यकता असेल. नॉन-पारंपारिक शेती तंत्र, नवीन जैव-आधारित सक्रिय एजंट्स आणि डेटा सायन्सेस वापरून वर्धित शेती आणि अन्न-निर्मितीच्या पद्धतींचा वापर अन्नाची सतत वाढणारी मागणी पूर्ण करेल. पाण्याचा मर्यादित प्रवेश शुद्धीकरण, डिसेलिनेशन आणि रीसायकल क्षमतांसाठी तंत्रज्ञानाच्या प्रगतीला चालना देत राहील. बायोटेक्नॉलॉजी, बायोप्रोसेसिंग म्हणून, रासायनिक अभियांत्रिकीच्या सुरुवातीच्या काळात परत जाते आणि तेव्हापासून ते विस्तृत झाले आहे. जीवशास्त्र एका आण्विक विज्ञानात बदलले आहे; रासायनिक अभियंते आण्विक विज्ञान वापरतात; त्यामुळे रासायनिक अभियंते आधुनिक जैवतंत्रज्ञानाच्या विस्तारित श्रेणीत खोलवर गुंतलेले असणे स्वाभाविक आहे. उर्जा साठवण, शून्य पाण्याची रणनीती, पर्यायी अन्न रचना, विल्हेवाट लावणे कापड डिझाइन, लॅंडफिल रीक्लेम आणि अनुवांशिकरित्या सुधारित खाद्यपदार्थ यासह रासायनिक अभियंते आघाडीवर होते अशी अनेक क्षेत्रे होती.

### **प्राध्यापक किरण पाटील**

स्कूल ऑफ केमिकल इंजिनिअरिंग

डॉ.विश्वनाथ कराड एमआयटी वर्ल्ड पीस युनिव्हर्सिटी, पुणे

ई-मेल: [kiran.patil@mitwpu.edu.in](mailto:kiran.patil@mitwpu.edu.in)