भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका
वर्ष 28 अंक (2) दिसम्बर 2020 पृ. 182-187

जल शोधन में अधिशोषण प्रणाली का महत्व

पारुल साहू एवं अंजलि सोनी*
सीएसआईआर-केंद्रीय नमक व समुद्री रसायन अनुसंधान संस्थान, भावनगर 311 001 (गुजरात)
*एसएमएम राजकीय कन्या महाविद्यालय, भीलवाड़ा 364 002 (राजस्थान)

सारांश : जल जीवन का एक अभिन्न घटक है। पिछले कुछ वर्षों में, जनसंख्या वृद्धि, शहरीकरण, प्रवासन और औद्योगिकीकरण के परिणामस्वरूप उपयुक्त जल संसाधनों की मांग में निरंतर वृद्धि हुई है। परन्तु अंधाधुंध विकास कार्यों के चलते जल संसाधनों की गुणवत्ता और उपलब्धता नकारात्मक रूप से प्रभावित हो रही है। विश्व के कई भागों में लोग दूषित पेयजल का उपयोग करने के लिए मजबूर हैं। इस परिदृश्य में जल के सेवन या उपयोग से पहले उसका शुद्धिकरण अति आवश्यक है। जल में उपस्थित संप्रदूषन के आधार पर विभिन्न पारम्परिक एवं आधुनिक उपचार विकल्प प्रयोग में लाये जा रहे हैं। इनमें से अधिशोषण प्रणाली जल शोधन में एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। इस लेख में, अधिशोषण प्रक्रिया के बुनियादी पहलुओं को शामिल किया गया है। तदोपरांत घरेलू जल शोधन तथा औद्योगिक अपशिष्ट उपचार में अधिशोषण के महत्व पर प्रकाश डाला गया है।

Significance of adsorption process in water purification

Parul Sahu & Anjali Soni*
CSIR-Central Salt & Marine Chemicals Research Institute, Bhavnagar 364 002 (Gujarat)
*SMM Government. Girls College, Bhilwara 311 001 (Rajasthan)

Abstract

Water is an integral component of life. In the last few years, there has been a steady increase in demand for suitable water resources as a result of population growth, urbanization, migration and industrialization. But due to indiscriminate development works, the quality and availability of water resources are being negatively affected. In many parts of the world, people are forced to use contaminated drinking water. In this scenario, purification of water before it is consumed or used is absolutely essential. Various traditional and modern treatment options are being used on the basis of the communion present in water. Of these, the adsorption process plays an important role in water purification. In this article, basic aspects of the adsorption process are covered. Subsequently, the importance of adsorption in domestic water treatment and industrial waste treatment has been highlighted.

प्रस्तावना

जल इस ब्रह्माण्ड का एक महत्वपूर्ण व आवश्यक घटक है। जल एक अनमोल प्राक्रतिक सम्पदा है, जो प्रकृति द्वारा वरदान स्वरूप इस सम्पूर्ण जगत को प्राप्त है। पृथ्वी की सतह का लगभग 71 प्रतिशत भाग जल है, परन्तु इस समूचे जल का मात्र 2.6 प्रतिशत ही पीने योग्य है। इसमें से भी लगभग 1.8 प्रतिशत भाग बर्फ के रूप में उपस्थित है एवं मानव उपभोग हेतु मात्र 0.8 प्रतिशत भाग जल ही उपलब्ध है। आधुनिक परिवेश में जनसंख्या-वृद्धि, औद्योगीकरण, वैश्विक परिवर्तनों के परिणामस्वरुप हमारे जल संसाधनों की गुणवत्ता दिन-प्रतिदिन बिगड़ती ही जा रही है। मानवीय गतिविधियां, अनुपचारित औद्योगिक अपशिष्ट, कृषि जल अपवाह जैसे अनेकों कारक भू-जल एवं भू-पृष्ठ जल को लगातार दूषित कर रहे हैं। जल प्रदूषण एक वैश्विक समस्या है क्योंकि जल प्रत्यक्ष/अप्रत्यक्ष रूप से जीव-जंतु, प्राणी, पादप आदि सभी के जीवन को प्रभावित करता है।

दुनिया के कई हिस्सों में सुरक्षित व स्वच्छ पेयजल संकट की समस्या उभर रही है। विश्व स्वास्थ्य संगठन के अनुसार, विश्वभर में कम से कम 2 अरब लोग दूषित पेयजल का उपयोग करने के

लिए मजबूर हैं[1]। दूषित जल डायरिया, हैजा, पेचिश, टाइफाइड और पोलियो जैसी गंभीर बिमारियों का प्रमुख कारक हो सकता है। संयुक्त राष्ट्र विश्व जल विकास रिपोर्ट के अनुसार जल की उपलब्धता के दृष्टिकोण से भारत आज 180 देशों की सूची में 133वें स्थान पर है एवं जल गुणवत्ता के दृष्टिकोण से 122 देशों की सूची में 120वें स्थान पर है। संयुक्त राष्ट्र महासभा ने 2010 में जल और स्वच्छता के मानव अधिकार को मान्यता दी, जिसके अंतर्गत सभी को व्यक्तिगत और घरेलू उपयोग के लिए पर्याप्त, निरंतर, सुरक्षित, स्वच्छ, सुलभ और सस्ती जल उपलब्धता का अधिकार है। अतः मानव स्वास्थ्य के लिए जल के बेहतर स्रोतों की सुलभता अति आवश्यक है[2]।

उपरोक्त कारणों से जल के सेवन या उपयोग से पहले उसका भली-भांति शोधन करना अत्यंत आवश्यक है। जल शोधन के लिए निस्पंदन (सूक्ष्म एवं अतिसूक्ष्म), अधिशोषण, झिल्ली निस्पंदन (विपरीत परासरण), नैनो प्रणाली, ओजोनेशन,पराबैंगनी-विकिरण आदि कई आधुनिक प्रणालियाँ विकसित की गई हैं[3-5]। इनमें से अधिशोषण एक सरल, सस्ती, लोकप्रिय व व्यापक रूप से प्रयुक्त होने वाली तकनीक है। यह लेख अधिशोषण के मूल-तत्व, प्रक्रिया, विशिष्टता एवं उपयोगिता को वैज्ञानिक और तकनीकी दृष्टिकोण से प्रस्तुत करता है।

अधिशोषण

अधिशोषण एक सतह परिघटना है जिसके अंतर्गत गैसीय या तरल घटक ठोस पदार्थ की सतह या अंतराफलक पर संचित हो जाते हैं। अधिशोषण एक द्रव्य व ठोस के बीच अंतर आणविक आकर्षण बलों पर आधारित होता है। जो पदार्थ ठोस की सतह पर चिपकते या निक्षेपित होते हैं उन्हें अधिशोष्य (adsorbate) कहते हैं। जबकि वे पदार्थ जिस ठोस की सतह पर चिपकते हैं उस ठोस को अधिशोषक (adsorbent) कहते हैं। अधिशोषण के विपरीत किसी सतह से अधिशोष्य के अणुओं को हटाने की प्रकिया विशोषण कहलाती है। अधिशोषण मुख्यतः दो प्रकार का होता हैः भौतिक अधिशोषण व रासायनिक अधिशोषण। भौतिक अधिशोषण प्रक्रिया में अधिशोष्य अधिशोषक के पृष्ठ पर दुर्बल वांडरवाल-बलों द्वारा बंधित होते हैं। इस अधिशोषण की घटना में अधिशोष्य को अधिशोषक की सतह से उच्च ताप अथवा निम्न दाब पर मुक्त किया जा सकता है। इस अधिशोषण में बहुआण्विक परतें बनती हैं व यह उत्क्रमणीय प्रकति का होता है। रासायनिक अधिशोषण के अंतर्गत अधिशोष्य अधिशोषक के पृष्ठ पर प्रबल रासायनिक बलों के द्वारा अधिशोषित होते हैं एवं संहसयोजक-बंधों द्वारा बंधे रहते हैं जिन्हें आसानी से अलग नहीं किया जा सकता। यह अधिशोषण अपेक्षाकृत अधिक स्थायी होता है। इसमें केवल आणविक परत बनती है व यह अनुक्रमणीय प्रकति का होता है[6]।

किसी अधिशोषक के निष्पादन मूल्यांकन के लिए ऊष्मागतिकी एवं क्रियागतिकी अध्ययन आवश्यक होते हैं। साम्यावस्था-संबंध किसी अधिशोषक द्वारा उसकी सतह पर होने वाले अधिकतम अधिसोषण मात्रा का निर्धारण करते हैं। अधिशोषक की ठोस सतह पर सांद्रता व जलीय घोल में सांद्रता के संबंध को 'अधिशोषण समतापी वक्र' (dsorption isotherm) द्वारा प्रदर्शित किया जाता है। अतः ये समतापी वक्र उपयुक्त अधिशोषक पदार्थ के चयन व उसकी प्रदर्शिता जानने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। लैंगम्यूर (Langmuir) एवं फ्रेयुंडलिक (Freundlich) समतापी वक्र अपनी सरलता व यथार्थता के कारण प्रायतः अधिशोषण संयंत्र अभिकल्पना के लिए प्रयोग किये जाते हैं। इसके अलावा, अधिशोषण प्रक्रिया की दर व गति (kinetics) से संबंधित तकनीकी जानकारी भी उच्च स्तरीय संयंत्र-रचना के लिए आवश्यक होती है।

अधिशोषक पदार्थ के गुणधर्म एवं चयन

अधिशोषक पदार्थ में सूक्ष्म आंतरिक छिद्र होते हैं जो आणविक अधिशोषण हेतु विशाल आंतरिक सतह प्रदान करते हैं। अधिशोषक की क्षमता उसके पृष्ठीय क्षेत्रफल के प्रत्यक्ष अनुपाती होती है। अतः क्षिद्रित प्रकृति वाले पदार्थ अच्छे अधिशोषक हो सकते हैं। अधिशोषक का सतही आवेश अधिशोषण का दूसरा प्रमुख कारक होता है। इस क्रियविधि में अधिशोष्य में उपस्थित विपरीत आयन अधिशोषक की सतह पर रासायनिक बंध बना लेते हैं। इस प्रकार अधिशोषण दर अधिशोषक पदार्थ के सतही क्षेत्रफल, छिद्र आकार विभाजन, सतही आवेश एवं जलविरोधकता जैसे प्रमुख गुणों पर निर्भर करती है[5]। एक आदर्श अधिशोषक में उच्च शोषक क्षमता व चयनात्मकता, उत्कृष्ट स्थिरता, स्थायित्व एवं पुनर्प्रयोज्य जैसे महत्वपूर्ण गुण विद्यमान होने चाहिए। प्रभावी अधिशोषण हेतु अधिशोषक की सक्रियता उचित तापीय, रासायनिक या यांत्रिक विधियों द्वारा बढ़ाई जाती है। उदाहरणतः

(1) धात्विक अधिशोषकों को यांत्रिक विधियों द्वारा खुरदुरा बनाना; (2) बड़े दानेदार अधिशोषक को अधिक बारीक पीसकर उसका पृष्ठीय क्षेत्रफल वर्धन;

(3) अतितप्त भाप द्वारा अधिशोषक का उपचार एवं

(4) रासायनिक अभिक्रियाओं द्वारा मुक्त संयोजकताएं उत्पन्न करना।

जल से अधिशोषक द्वारा संदूषण निकालने की क्षमता कई अलग-अलग कारकों पर निर्भर करती है, जिसमें प्रदूषण के प्रकार और मात्रा, जल की अम्लता और तापमान शामिल हैं[7]। व्यावसायिक स्तर पर प्रयुक्त होने वाले विभिन्न अधिशोषकों को सारणी 1 में प्रदर्शित किया गया है।

कार्बन-सदृश पदार्थ संश्लेषित मिश्रित ऑक्साइड की तुलना में अधिक प्रभावी सिद्ध हुए हैं क्योंकि इनमें उपस्थित छिद्र एवं कार्यात्मक समूह अधिशोषण प्रक्रिया को सुविधाजनक बना देते हैं[11]। वर्तमान में नैनो कणों (nano particles) को अधिशोषक पदार्थ के रूप में प्रयुक्त करने के शोध प्रयास किए जा रहे हैं। विभिन्न प्राकृतिक व पुनर्नवीनीकरण अपशिष्ट पदार्थों का अधिशोषक के रूप में प्रयोग पर शोध जारी है[12]। इन प्रयासों को उच्च स्तर पर ले जाने की आवश्यकता है।

जल शोधन में अधिशोषण के अनुप्रयोग

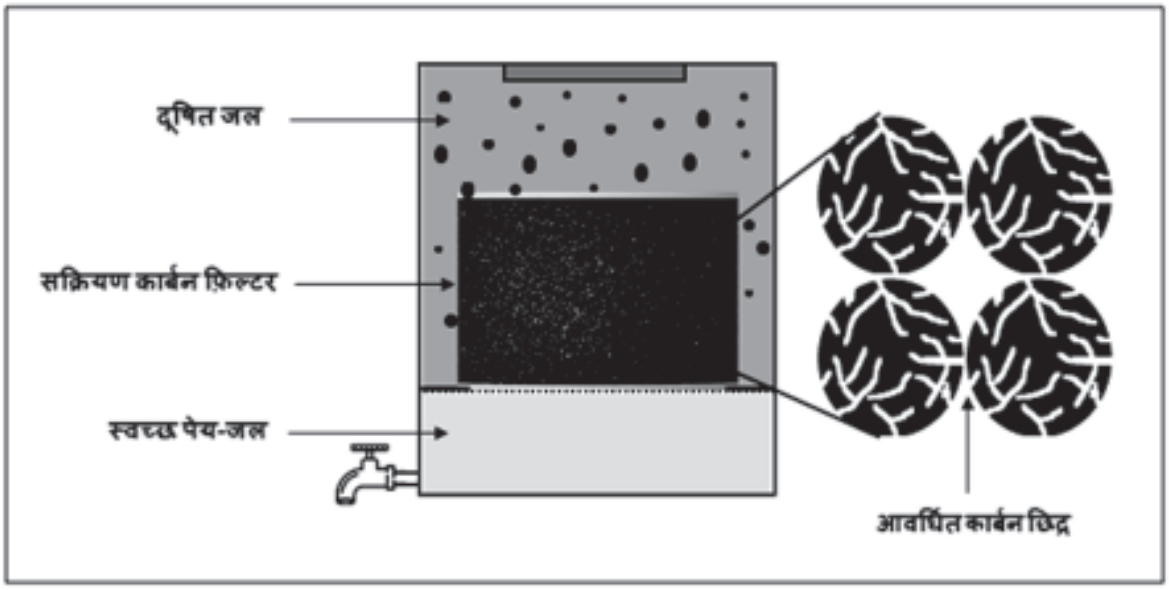
घरेलू जल शोधन

अधिशोषण प्रक्रिया पर आधारित कार्बन फिल्टर का उपयोग घरेलू जल (भोजन, पेय पदार्थों और पीने में प्रयोग होने वाले) से स्वाद, गंध और क्लोरीन निकालने के लिए आमतौर पर होता है। कार्बन रासायनिक रूप से क्लोरीन अणुओं को क्लोराइड में परिवर्तित कर देता है[13]।

चित्र 1 सक्रिय कार्बन द्वारा जल में उपस्थित अशुद्धियों व दूषित पदार्थों के निष्कासन प्रक्रिया को दर्शाता है। साधारण कार्बन को तापीय या रासायनिक सक्रियण द्वारा सक्रिय कार्बन में

सारणी 1 – कुछ महत्वपूर्ण अधिशोषक पदार्थ व उनकी विशेषताएं

अधिशोषक पदार्थ	विशेषताएं	उदाहरण
चारकोल	• आसान उपलब्धता • अल्प लागत	• बिटुमेनी कोयला • लकड़ी का कोयला • नारियल-खोल का कोयला
सक्रिय कार्बन	• उच्च आणविक भार और पानी में कम घुलनशील पदार्थ पर प्रभावी • उच्च सतह क्षेत्र	• दानेदार सक्रिय कार्बन • त्रिज्यक कार्बन फील्टर
प्राकृतिक एवं संश्लेषित जिओलाइट (एलुमिना सिलिकेट बहुलक)	• समरूप छिद्र वितरण • ध्रुवीय बंध स्थल • अधिक चयनात्मक	• क्लिनोप्टिलोलाइट • मॉर्डेनाइट • केबेजाइट • लौमॉन्टाइट
प्राकृतिक मृदा (क्ले) खनिज	• ध्रुवीय कार्बनिक, अकार्बनिक पदार्थ व धातु आयन शोषण की क्षमता	• केओलिनाइट • क्लोराइट • इल्लाइट • मॉन्टमोरोलाइट-स्मेसाइट
सिलिका जेल और मेटल ऑक्साइड	• अति ध्रुवीय शोषक	• सक्रिय-एल्यूमीनियम • मिश्रितऑक्साइड
जैवशोषक पदार्थ	• सक्रिय कार्यात्मक समूह • कम-लागत • पर्यावरण के अनुकूल	• चिटोसेन • साइक्लो-डेक्सट्रिन्स (CD) • जैव-संहति, कृषि अपशिष्ट



चित्र 1 – अधिशोषण पर आधारित घरेलू कार्बन फ़िल्टर द्वारा पेय जल शोधन

परिवर्तित किया जाता है। सक्रिय-कार्बन की सतह व आंतरिक भाग में उत्पन्न लाखों सूक्ष्म छिद्र तरल पदार्थ के संपर्क में आने पर संदूषक अणुओं को आकर्षित करते हैं। जब जल फिल्टर के संपर्क में आता है, संदूषक यौगिक कार्बन-फिल्टर की सतह पर बंधते या चिपकते हैं क्योंकि जल और संदूषक दोनों ध्रुवीय यौगिक हैं जो एक दूसरे को आकर्षित करते हैं। और, इस प्रकार जल से ख़राब स्वाद, गंध व अन्य दूषकों को निष्कासित करके उसे पीने योग्य बनाया जाता है[13]। कई स्थानों पर कार्बन फिल्टर का उपयोग शॉवर में क्लोरीन गैस को बाहर निकालने से रोकने के लिए शॉवर हैड्स में किया जाता है।

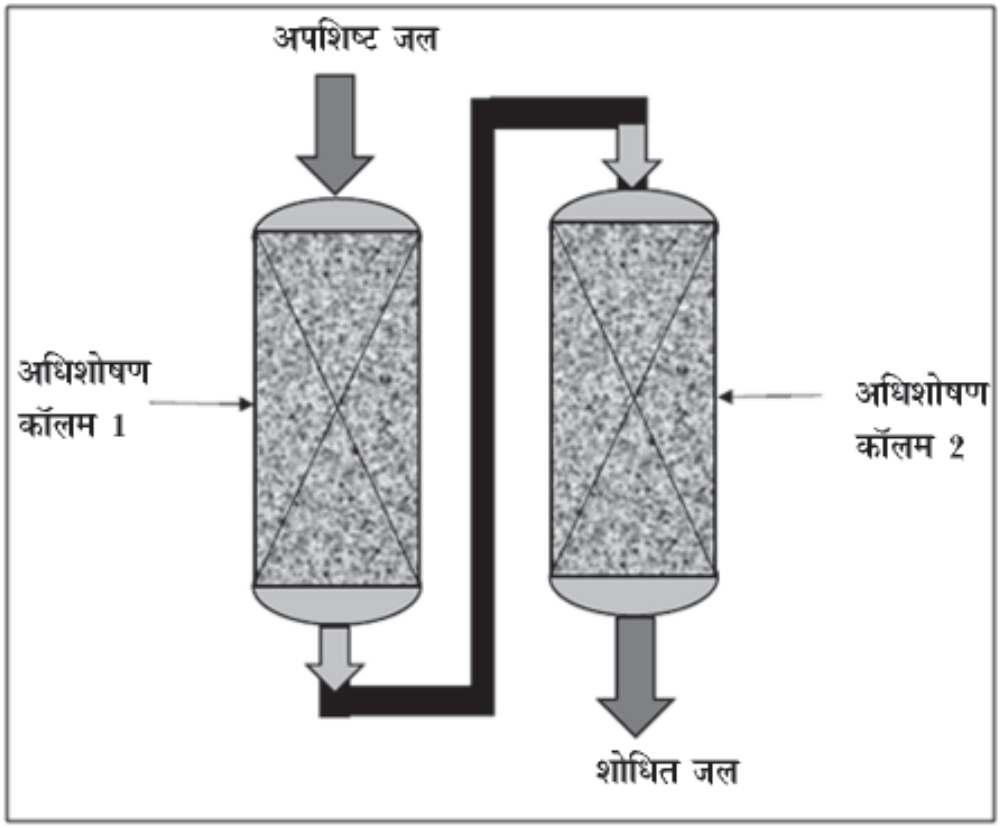
औद्योगिक अपशिष्ट/दूषित जल उपचार

विभिन्न औद्योगिक अपशिष्टों से धातु आयनों एवं जटिल कार्बनिक यौगिकों के निष्कासन के लिए अधिशोषण एक कुशल विकल्प है। सक्रियण कार्बन (चूर्ण व दानेदार) द्वारा जल में उपस्थित कार्बनिक, रंगीय एवं प्रतिजैविक अशुद्धियों के निष्कासन को प्रमाणित किया जा चुका है[5]। यू. एस. एन्वायरॉन्मेंटल प्रोटेक्शन एजेंसी (ईपीए) के अनुसार, सक्रिय कार्बन एक मात्र फ़िल्टरिंग सामग्री है जो सभी 12 पहचाने गए तृणमारक और 14 कीटनाशकों के साथ-साथ सभी 32 पहचाने गए कार्बनिक दूषित पदार्थों को हटाता है[7]। धातु आयनों के अधिशोषण के लिए कुछ व्यापक रूप से उपयोग किए जाने वाले अधिशोषकों में सक्रिय कार्बन, मृदा-खनिज, जैव-पदार्थ, औद्योगिक ठोस अपशिष्ट और जिओलाइट्स सम्मिलित हैं। एक माइक्रोन से छोटे आकार के छिद्र वाले कार्बन फिल्टर से यांत्रिक निस्पंदन के माध्यम से सीसा, आर्सेनिक, पारा, लोहा और अन्य भारी धातुओं को हटाया जा सकता है[13]। ज्हु एवं उनके सहयोगियों ने अपने समीक्षा पत्र में वस्त्र उद्योगोत्पन्न अपशिष्ट से अधिशोषण द्वारा रंजक (dyes) निष्कासन पर एक विस्तृत विश्लेषण प्रस्तुत किया है। इस अध्ययन से यह विदित होता है की समरूप वितरित छिद्र तथा विस्तृत सतह युक्त, मिश्रित व संशोधित अधिशोषक बेहतर शोधन क्षमता प्रदर्शित करते हैं[10]। भाँति-भाँति के प्राकृतिक-पदार्थ, औद्योगिक उपोत्पाद, कृषि अपशिष्ट भी कम लागत वाले अधिशोषक के रूप में उभर कर आ रहे हैं[8,10]।

नगरपालिका संयंत्र द्वारा अधिशोषण का प्रयोग दूषित जल उपचार की प्रक्रिया के दौरान जल-मृदुकरण से पूर्व क्लोरीन निकालने के लिए किया जाता है[13]। इस तकनीकी का प्रयोग अपशिष्ट शोधन की तृतीयक सफाई के रूप में अनिम्नीकरणीय कार्बनिक यौगिकों के निष्कासन या कम सांद्रता के लिए भी करते हैं[9]। आयन-विनिमय रेसिन द्वारा कठोर जल के लवणों को अधिशोषित करके मृदु जल में परिवर्तित कर दिया जाता है।

अधिशोषण द्वारा अपशिष्ट जल उपचार के लिए उपयोग की जाने वाली एक विशिष्ट प्रणाली को चित्र 2 में दर्शाया गया है।

जिस उपकरण में अधिशोषक पदार्थ (बैड) को रखा जाता है उसे अधिशोषण कॉलम कहते हैं। अपशिष्ट जल कॉलम में नीचे



चित्र 2 – द्वि-चरण (कॉलम 1 व 2) अधिशोषण प्रणाली का चित्रण

की ओर प्रवाहित होता है और जल में उपस्थित संदूषक अधिशोषक सतह पर संचित हो जाते हैं। बेहतर परिणाम के लिए एक से अधिक चरण का उपयोग किया जा सकता है (जैसे कि चित्र 2 में द्वि-चरण पद्धति दिखाई गई है)। एक निश्चित अवधि ा के बाद अधिशोषक बैड अधिशोष्य (संदूषण) से संतृप्त हो जाती है। उस स्थिति में संतृप्त बैड नयी अधिशोषक बैड द्वारा प्रतिस्थापित कर दी जाती और संतृप्त बैड को तापीय अथवा रासायनिक उपचार देकर पुनर्योजित करते हैं। पुनर्योजन के पश्चात् बैड अगले चक्र के लिए तैयार हो जाती है।

निष्कर्ष

यह अध्ययन मुख्य रूप से अधिशोषण प्रक्रिया का जल-शोधन में योगदान प्रस्तुत करता है। अधिशोषण प्रक्रिया के मूल-तत्वों की संक्षिप्त व्याख्या की गई है। घरेलू व व्यवसायिक जल शुद्धिकरण में अधिशोषण प्रणाली के उपयोग पर प्रकाश डाला गया है। अनेक पारंपरिक व नवीन अधिशोषक पदार्थ (जैसे सक्रिय कार्बन, जियोलाइट, मेटल ऑक्साइड, मृदा खनिज आदि) दूषित जल से कार्बनिक/अकार्बनिक यौगिक, क्लोरीन-गैस, गंध, रंग, भारी धातु जैसे नाना प्रकार के संदूषकों को निकालने में अत्यंत प्रभावी सिद्ध हुए हैं। भविष्य में प्राकृतिक व किफायती अधिशोषक पदार्थों की शोध व उनके द्वारा जल शोधन पर बल देने की आवश्यकता है।

सन्दर्भ

1. विश्व स्वास्थ्य संगठन, वेबसाइट https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water
2. द यूनाइटेड नेशंस वर्ल्ड वाटर डिवेलपमेंट रिपोर्ट.
3. शर्मा एम के, शर्मा बी, गोयल आर एवं प्रसाद बी, 'जल शुद्धिकरण हेतु उपलब्ध आधुनिक तकनीकें,' *भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका*, **22**(2) (2014) 120-122.
4. जोशी एच, 'जल के शुद्धिकरण में आधुनिक प्रौद्योगिकियों की प्रासंगिता,' *भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका*, **20** (**1**) (2012) 63-69.
5. उपाध्याय आर एवं पांडेय के, 'जलशोधन में झिल्ली छनाई का महत्व,' *भारतीय वैज्ञानिक एवं औद्योगिक अनुसंधान पत्रिका*, **26** (2) (2018) 69-93.
6. वेबसाइट https://aliscience-in/adsorption&hindi.
7. वेबसाइट https://www.carbonblocktech.com/the-science-behind-activated-carbon-water-filters/.

8. लखेरवाल डी, 'अड्जोर्पसन ऑफ हैवी मेटल्सः ए रिव्यू, '*इंटरनेशनल जर्नल ऑफ एन्वायरॉन्मेंटल रिसर्च एंड डिवेलपमेंट*, **4**(1) (2014) 41-48.
9. वेबसाइट https://emis-vito-be/en/bat/tools-overview/sheets/adsorption-techniques.
10. ज्हुवाय, लूजे, ज्हुवाय,ल्यूवाय, 'रीसेंट एडवांसेज फॉर डाइज रिमूवलयूजिंग नोवेल एंड सोर्बेन्ट्सः ए रिव्यू,' *एन्वायरॉनमेंटल पॉल्युशन* **252** (2019) 352-365.
11. सोरोखय बमएलजी एवं अहरा मुज्जमां एम, 'इंडस्ट्रियल वेस्ट वाटर ट्रीटमेंट, *रीसाइक्लिंग एन्ड रीयूज*,' (2014)
12. भटनागर ए एवं मिनोचा ए के, 'कन्वेंशनल एन्ड नॉन-कन्वेंशनल एंड सोर्बेंट्स फॉर रिमूवल ऑफ़ पॉल्यूटेंट्स फ्रॉम वाटर-ए रिव्यू' *इंडियन जर्नल ऑफ़ कैमिकल टेक्नोलॉजी*, 13 मई (2006) 203-217
13. वेबसाइट https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/activated-carbon-filters-101.