

जल शोधन में झिल्ली छनाई का महत्व

रुबी उपाध्याय एवं कमलेश पाण्डेय

डिपार्टमेंट ऑफ अप्लाइड साइंस, यूनाइटेड कॉलेज ऑफ इंजीनियरिंग एण्ड मैनेजमेन्ट, इलाहाबाद 211 010 (उ.प्र.)
नेशनल सेंटर ऑफ एक्सपेरिमेंटल मिनेरॉजी एण्ड पेट्रोलॉजी, यूनीवर्सिटी ऑफ इलाहाबाद, इलाहाबाद 211 002 (उ.प्र.)

सारांश : पृथ्वी पर जीवन के लिये जल एक बहुत ही आवश्यक अवयव है। लेकिन आज के समय में जल प्रदूषण एक बहुत ही गंभीर पर्यावरणीय समस्या हो गयी है। जल की कमी एवं जल में पाये जाने वाले उदण्ड तथा अनवरत प्रदूषकों के कारण, इनका निरूपण एक महत्वपूर्ण चिंता का विषय बन गया है। हाल के वर्षों में, अवशिष्ट जल से इन प्रदूषकों को हटाने के लिये अनेक विधियों का व्यापक रूप से अध्ययन किया जा चुका है। प्रस्तुत पत्रक में, अपशिष्ट जल से विभिन्न प्रकार के प्रदूषकों को हटाने में उपयोग किये गये विभिन्न प्रकार की झिल्ली विधियों की समीक्षा की गयी है। इन झिल्ली विधियों में सूक्ष्म छनाई, चरम छनाई, अति सूक्ष्म छनाई तथा विपरीत परासरण की विधियां शामिल हैं। लगभग 161 प्रकाशित अध्ययनों की इस पत्रक में समीक्षा की गई है।

Importance of membrane filtration in water purification

Ruby Upadhyay & Kamlesh Pandey

Department of Applied Science, United College of Engineering and Management, Allahabad 211 010 (U.P.)
National centre of Experimental Mineralogy and Petrology, University of Allahabad, Allahabad 211 010 (U.P.)

Abstract

Water is an essential component for life on earth but in recent time's water pollution is a serious environmental issue. The treatment of this water is of special concern due to the scarcity of water and the presence of recalcitrance and persistence of pollutants in water. In recent years, various methods for pollutants removal from waste water have been extensively studied. The present paper reviews the use of various types of membrane methods to remove pollutants from waste water. These membrane methods include microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis methods. About 161 published articles are reviewed in this paper.

प्रस्तावना

जल, जीवन तथा अच्छे स्वास्थ्य के लिये एक महत्वपूर्ण संसाधन है। लेकिन इसकी उपलब्धता दिन प्रतिदिन घटती जा रही है। यह कमी मुख्यतः जनसंख्या वृद्धि, स्रोतों के दूषित एवं अवक्रमण तथा इसके अविवेकपूर्ण ढंग से उपयोग से है। इसके अलावा अपरिवर्तित जल के उपयोग करने से संक्रामक बीमारियां (चित्र 1) जैसे दस्त और दूसरी विषा और मुख संबंधी प्रकृति की होती हैं¹।

पारंपरिक जल निरूपण विधियां जैसे कि कणों को हटाने के लिये भौतिक पृथक्करण तकनीकी, निलंबित ठोसों, कार्बनिक पदार्थों तथा घुले हुये प्रदूषकों या विष को हटाने के लिये जैविक और रासायनिक निरूपण तथा वाष्पीकरण तकनीकी तथा दूसरी भौतिक तथा यांत्रिक विधियां सम्मिलित हैं। इन तकनीकियों का

स्थान झिल्ली पृथक्करण ने चयनात्मक भेद्य अवरोध द्वारा ले लिया गया है जिसका छोटा छिद्र आकार (चित्र 2) जल के अणुओं के गमन की स्वीकृति देता है लेकिन पर्याप्त छोटा होने से बड़े आकार के कणिका तथा घुले हुये यौगिक पदार्थ की प्रकृति के अनुसार जाने से रोकता है^{2-4,5,6}।

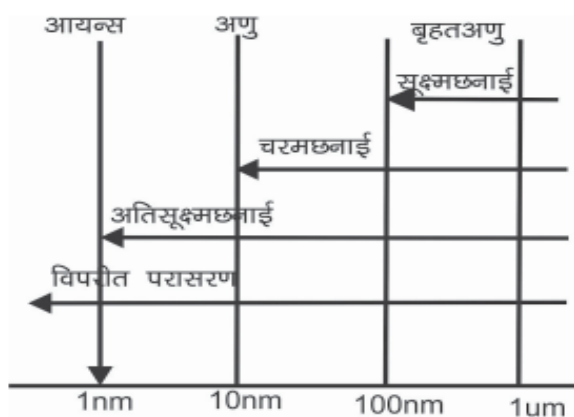
सन् उन्नीस सौ चालीस की शुरुवात में, यूरेनियम के समपन्नीकरण के लिये अकार्बनिक झिल्लियों का निर्माण किया गया। ये झिल्लियां मृत्तिका कृति आधारित असममित झिल्लियां होती थी⁷⁻¹⁰। तीस साल बाद कुछ सममित झिल्लियों का निर्माण सॉल-जेल तकनीकी द्वारा किया गया। झिल्ली तकनीकी में सरंध्रता का नियंत्रण एक महत्वपूर्ण पहलू है। विभिन्न प्रकार के जल (व्यवसायिक जल, तेल/जल पृथक्करण तथा खतरनाक

अवशिष्ट जल) की शुद्धिकरण के लिये मृत्तिका कृति झिल्लियों का विकास, इसके अच्छे उष्मीय, यांत्रिकी तथा रासायनिक स्थिरता की वजह से, एक महत्वपूर्ण बल मिला। वर्ष 2001 के शोधार्थियों का सैद्धान्तिक शोध (आणविक सक्रिय अनुरूपण) प्रदर्शित करता है कि मृत्तिका कृति झिल्लियां शायद परासरणी पृथक्करण के लिये उपयोगी हैं। मृत्तिका कृति झिल्ली की उच्च यांत्रिकीय ताकत, विसंक्रामकों को सहन करने की, उच्च दाब तथा रसायनिक स्थिरता की स्थिति में एक अच्छा लाभ पहुँचाता है। जियोलाइट झिल्ली (एक प्रकार की मृत्तिका कृति झिल्ली) जो कि प्राकृतिक रूप में पाये जाने वाले एल्युमिनो सिलीकेट खनिज का बना होता है जिसमें उच्चय एकसार उपनैनीमीटर तथा नैनोमीटर पैमाने के क्रिस्टलीय संरचना होती है। जियोलाइट से आयन एवं जल की गतिशीलता, इसके परस्पर संबंधित संरचना घनत्व, मुक्त छिद्रित संरचना पर निर्धारित है जो कि कम अवष्टब्ध परिवहन को सुगम करेगा¹¹⁻²⁰।

जियोलाइट पदार्थ में पृथक्करण आणविक छननी, अवशोषण अनुरूप या आयन की अदला-बदली द्वारा होता है। छोटा जलयोजित



चित्र 1 — जलसंक्रामक रोगों के विभिन्न प्रकार



चित्र 2 — विभिन्न छनाई विधियों द्वारा अणुओं का निष्कासन

अरीय आयन, जियोलाइट छिद्रित संरचना द्वारा तेजी से व्याप्त होता है। जियोलाइट झिल्ली की ऋणात्मक आवेशित सतह पर धनात्मक अवशोषण होता है तथा अवशोषण आवेश ढलान के स्थापित होने से बढ़ता है। बड़े पैमाने पर निर्माण करने के लिये, मृत्तिका कृति झिल्ली की ऊंची कीमत ही इसकी कमी है। झिल्ली एक अर्द्धपारगम्य पदार्थ की पतली परत है जो कि पदार्थों को पृथक्कृत करता है जब झिल्ली के ऊपर प्रेरक बल लगाया जाता है। झिल्ली विधि का प्रयोग जीवाणु, सूक्ष्मजीवों, कणों तथा प्राकृतिक काबुनिक पदार्थों को हटाने के लिये बड़ा है जो कि जल से रंग, स्वाद तथा गंध प्रदान करता है तथा विसंक्रामक के साथ क्रिया करके विसंक्रामक उपोत्पाद बनाता है। साफ तथा सुरक्षित पेयजल के निर्माण के लिये झिल्ली तकनीकी एक बहुत ही आकर्षित चुनाव प्रकट होता है क्योंकि इसका परंपरागत जल निरूपण विधि से महत्वपूर्ण लाभ हैं²¹⁻²⁴। मुख्यतः:

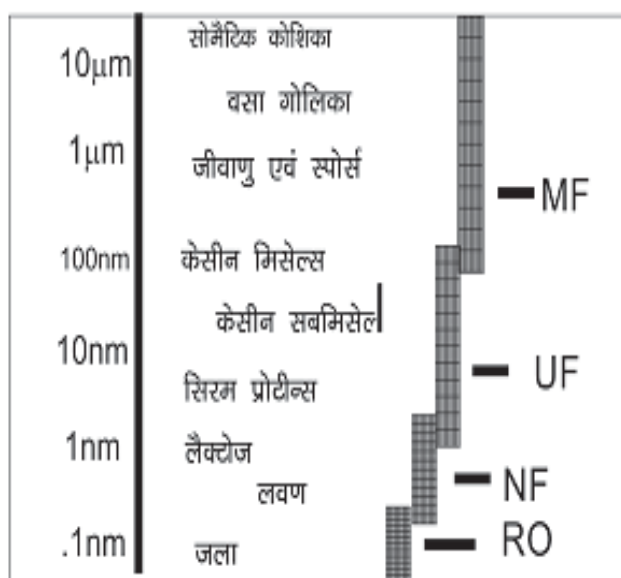
1. झिल्ली निरूपण बिना अवस्था बदले व्यापक ताप पर होता है।
2. झिल्ली पृथक्करण, झिल्ली के अन्दर बिना पदार्थों के इकट्ठा होने से होता है।
3. झिल्ली पृथक्करण बिना किसी रासायनिक संयोजक के मिलाने से होता है। यह निरूपित जल की गुण के लिये एक महत्वपूर्ण लाभ देता है जिसकी वजह से पर्यावरण भार कम होता है।
4. बहुत सी झिल्ली पद्धतियां सघन, प्रकृति में प्रमापीय, प्रचलित विधि की रीट्रोफिटिंग की सहमति देता है।
5. झिल्ली विधि परंपरागत पृथक्करण तकनीकी से सरल तथा ऊर्जा में दक्ष होती है तथा उतना ही बराबर बड़े पैमाने पर लगातार काम करने के लिये तथा बहुत ही कम मात्रा में बैचवाइस निरूपण के लिये सुविधाजनक होती है।
6. बहुलक रसायन में प्रगति होने से कम दाब वाली झिल्ली, बहुत कम दूषित होना जो कि कम ऊर्जा सम्बन्धित होती है, कम रासायनिक सफाई की आवृत्ति, बहुत ही ज्यादा झिल्ली जीवन तथा इसकी वजह से कम संचालन कीमत है।

झिल्ली के विशिष्ट लक्षण- कुछ शब्दावली : झिल्ली विधि द्वारा जल से संदूषण को हटाने में सफलता, झिल्ली के सही चुनाव से सम्बन्धित है। ध्यान देने वाला महत्वपूर्ण पहलू है, अनावेशित विलेय जो कि 90% अस्वीकृत है, के उपयुक्त झिल्ली का चुनाव जो कि अणुभार की सीमा है, यह डाल्टन में अभिव्यक्त होता है, यह परिकल्पित अणुभार को सूचित करता है²⁵। सरंधता, आयनिक प्रजाति अस्वीकृति की मात्रा, आवेशित सतह तथा झिल्ली का प्रकार (बहुलक की संरचना)। ये मानक मुख्यतः विलेय के गुणों

(अणुभार, अणु आकार, अम्ल पृथक्करण स्थिरांक तथा जल स्नेहीता/जलविरोधकता) से सम्बन्धित है (चित्र 3)। भूमि/ पेयजल स्रोतों में अधिकांशतः अशुद्धता की पहचान अणुभार पर आधारित होती है जो कि मुख्यतः 200 डाल्टन से ज्यादा होती है। झिल्ली जिसकी अणुभार सीमा 200 से 400 डाल्टन परिवर्तित होती है जो कि जल से विलेय को सफलतापूर्वक हटाने के लिये आशाजनक विकल्प होती है।

ये विपरीत परासरण है तथा ठोस अतिसूक्ष्म छनाई झिल्ली जिसका छिद्रण आकार, अशुद्धियों के आकार के निकट होता है (1 नैनोमीटर) जबकि दूसरी तरफ छोटे कीटनाशक अणुओं का अवरोधन, चौड़े छिद्र वाली झिल्ली के द्वारा न केवल छलनी पैमाने के द्वारा (अशुद्धियां तथा झिल्ली छिद्र आकार) बल्कि अशुद्धियों के बीच तथा झिल्ली की सतह पर होने वाली पारस्परिक भौतिक-रसायनिक क्रियाओं द्वारा भी प्रभावित होता है।

झिल्ली सरंध्रता : दूसरा परिमाण जैसे कि झिल्ली में बहुत मामूली छिद्र आकार का है जो कि झिल्ली के सांचे में सबसे छोटे आकार का इशारा करता है तथा सरंध्रता, छिद्र घनत्व द्वारा अभिव्यक्त होता है। विभिन्न प्रकार के कार्बनिक यौगिकों तथा कणों को अस्वीकृत करने का पैमाना छिद्र आकार के वितरण या प्रभावशाली छिद्र की संख्या है जो कि झिल्ली के ऊपरी परत में होने को दर्शाती है²⁶⁻³⁰। उदाहरण के लिये, अनावेशित अशुद्ध अणुओं की अस्वीकृति, झिल्ली छिद्र पैमाने द्वारा निश्चित रूप से संबद्ध किया गया^{29,30}। सुग्राहीशीलता की स्पष्ट अस्वीकृति, झिल्ली की छिद्रता



चित्र 3 — विभिन्न झिल्लियों द्वारा विभिन्न आकार के अणुओं का निष्कासन

की सही पहचान होती है जो कि अपने में ही, छनाई प्रक्रिया द्वारा प्रभावशाली भूमिका का संकेत देता है। इस जांच प्रणाली से यह भी ज्ञात होता है कि झिल्ली छिद्र आकार, विशिष्ट झिल्ली द्वारा कीटनाशकों को हटाने के लिये एक अत्यन्त महत्वपूर्ण पैमाना है³¹।

झिल्ली अलवणीकरण की मात्रा : ठोस अतिसूक्ष्म छनाई तथा विपरीत परासरण झिल्ली की पृथक्कृत क्षमताएं अणुभार सीमा की बजाय उसके लवण अस्वीकृत प्रदर्शन की विशेषता द्वारा होती है। झिल्ली अलवणीकरण की मात्रा को सामान्यतया 2000 मिलीग्राम/लीटर सोडियम क्लोराइड या मैग्नीशियम सल्फेट विलयन तथा 500 मिलीग्राम/लीटर कैल्शियम क्लोराइड विलयन के स्थिर लवण अस्वीकृति में सूचित होता है। अलवणीकरण की मात्रा अशुद्धियों की अस्वीकृति के लगभग आकलन में लाभदायक पैमाना हो सकता है। लवण अस्वीकृति के फायदों का प्रेक्षण अध्ययन में किया गया है^{32,33}। जहां पर एरोमेटिक तथा अफिनायलिक कीटनाशकों की अस्वीकृति का धनात्मक संबंध, व्यवसायिक अतिसूक्ष्म छनाई झिल्ली की अलवणीकरण मात्रा से किया गया है। यद्यपि सबसे उच्च अलवणीकृत झिल्ली के नमूने में अस्वीकृति ज्यादा पायी गयी।

छनाई विधि : समस्त छनाई विधियों को निम्नलिखित चार भागों में विभक्त किया जा सकता है^{34,35}।

• **सूक्ष्म छनाई :** सूक्ष्म छनाई से अभिप्राय है- ऐसी झिल्ली पृथक्करण विधि जिसमें झिल्लियों के छिद्रों का आकार लगभग 0.03 से 10 माइक्रोन (1 माइक्रोन = 0.0001 मिलीमीटर), अणुभार की सीमा 1000,000 डाल्टन से ज्यादा तथा निवेश जल जिसका संचालन दाब लगभग 100 से 400 किलोपास्कल (15 से 60 प्रति वर्ग इंच) के परस्पर होता है। सूक्ष्म छनाई के द्वारा दूर होने वाले पदार्थ जैसे बालू, कीचड़, मिट्टी, जिआर्डिया लाम्बिया तथा क्रिस्टोस्पोरिडियम सिस्ट, शैवाल तथा कुछ जीवाणु प्रजाति शामिल हैं। सूक्ष्म छनाई विषाणुओं के लिये पूर्णतया अवरोध नहीं होता है। लेकिन जब इसे विसंक्रण के साथ इस्तेमाल किया जाता है तब ये जल में सूक्ष्मजीवों का नियंत्रण करते हुये दिखायी पड़ते हैं। सूक्ष्म छनाई, मटमैलापन तथा कुछ प्रकार के कोलायडी निलंबनों को कम करने में छिद्रित अवरोध की तरह काम करते हैं। जल निरुपण के दौरान इस्तेमाल होने वाले रसायनों की सान्द्रता तथा संख्या को सीमित करने पर महत्व दिया जा रहा है। प्राकृतिक नियम के द्वारा रोगाणुओं को दूर करने के लिये, झिल्ली छनाई ने रसायन संयोजन जैसे कि क्लोरिनीकरण को महत्वपूर्ण रूप से कम कर सकता है। इस तकनीकी का अन्य उपयोग प्राकृतिक संश्लेषित

कार्बनिक पदार्थों को कम करना है जिससे कि गंदगी की संभावना को कम किया जाता है। इसके सामान्य संचालन में, सूक्ष्म छनाई कार्बनिक पदार्थों को थोड़ा या एकदम हटा देता है लेकिन जब पूर्वनिरोपण का इस्तेमाल होता है तो इसमें कार्बनिक पदार्थों को हटाने की वृद्धि हो जाती है। सूक्ष्म छनाई का इस्तेमाल गंदगी की संभावना को कम करने के लिये विपरीत परासरण या सूक्ष्म छनाई में पूर्वनिरोपण की तरह किया जा सकता है। विपरीत परासरण या सूक्ष्म छनाई दोनों को, भूमिजल से कठोरता को कम करने तथा अलवणीकरण के लिये परंपरागत तरीके से इस्तेमाल किया जा सकता है। सूक्ष्म छनाई की सरल विधि को चित्र-4 में दर्शाया गया है।

• **चरम छनाई :** चरम छनाई 1972 में पहली बार विकसित किया गया जो कि सूक्ष्मछनाई के समान होता है³⁶⁻⁴⁰। चरम छनाई में छिद्रों का आकार लगभग 0.002 से 1 माइक्रोन, अणुभार की सीमा 10,000 से 100,000 डाल्टन तथा संचालन दाब लगभग 200 से 700 किलोपास्कल (30 से 100 प्रति वर्ग इंच) होती है। चरम छनाई, सूक्ष्म छनाई (जीवाणु का आंशिक निष्कासन) द्वारा निकाले गये सभी सूक्ष्म जीवाणु प्रजाति के साथ-साथ कुछ विषाणुओं (लेकिन इसका पूर्ण अवरोध नहीं करता है) तथा सीलनदार पदार्थों का निष्कासन कर देगा। विसंक्रामक, संदूषकों के लिये दूसरा अवरोध प्रदान कर सकता है तथा इसीलिये इसकी सलाह दी जाती है। चरम छनाई, मटमैलापन तथा कुछ प्रकार के कोलायडी निलंबनों को सूक्ष्म छनाई से ज्यादा निकालता है लेकिन इसका संचालन उच्च दाब पर होता चरम छनाई पृथक्करण के लिये



चित्र 4 — सूक्ष्मछनाई विधि

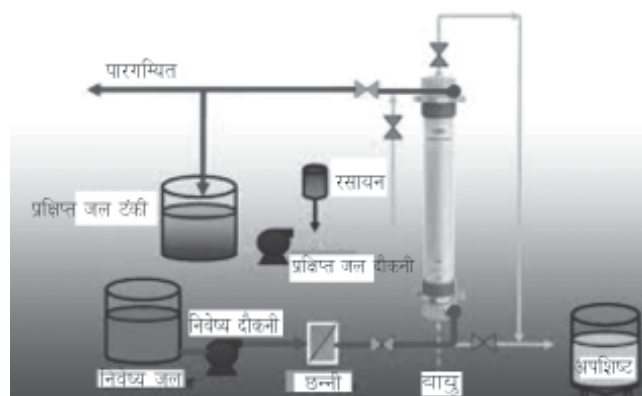
इच्छित गुणों को प्रस्तुत करने के लिये बहुलकीय झिल्लियों में अकार्बनिक अतिसूक्ष्मभरण जैसे कि धातु ऑक्साइड, धातु तथा कार्बन आधारित पदार्थों को सम्मिलित किया जाता है। इन अकार्बनिक अतिसूक्ष्मभरण पदार्थों की बृहत सीमा को नयी योजना में इस्तेमाल किया जा रहा है जो कि झिल्लियों के बड़े हुये गुणों के उत्पादन के लिये अच्छे से स्थापित है, जो कि पृथक्करण के प्रदर्शन को बढ़ाने के लिये बहुत ही ज्यादा जरूरी है⁴¹। चरम छनाई की सरल विधि को चित्र 5 में दर्शाया गया है।

निम्न दाब चरम छनाई झिल्ली विधियों के मुख्य लाभों की तुलना परंपरागत स्पष्टीकरण तथा विसंक्रामक (पश्च क्लोरिनीकरण) विधियों से इस प्रकार है-

- इसमें किसी भी रसायन की जरूरत नहीं होती है (कोआगुलेन्ट, लोक्युलेन्ट, डिसइन्फेक्टेन्ट, तथा पी एच एडजस्टमेन्ट)।
- आकार अपवर्जन छनाई जो कि माध्यम की गहराई की छनाई का विरोध करता है झिल्ली छनाई निरूपित जल के कणों तथा सूक्ष्मजीवों को निकालने के संबंध में स्थिर गुण देता है।
- विधि तथा संयंत्रों में ठोसपन
- सरल स्वचलित क्रिया

तब भी गंदगी की वजह से जल निरुपण के लिये झिल्ली तकनीकी में कठिनाई हो सकती है।

• **अति सूक्ष्म छनाई :** अति सूक्ष्म छनाई झिल्ली में बहुत मामूली छिद्र आकार लगभग 0.001 माइक्रोन तथा अणुभार की सीमा 1000 से 100,000 डाल्टन की होती है⁴²⁻⁴⁴। झिल्ली के इन छोटे छिद्रों द्वारा जल को निकालने के लिये, सूक्ष्म छनाई तथा चरम



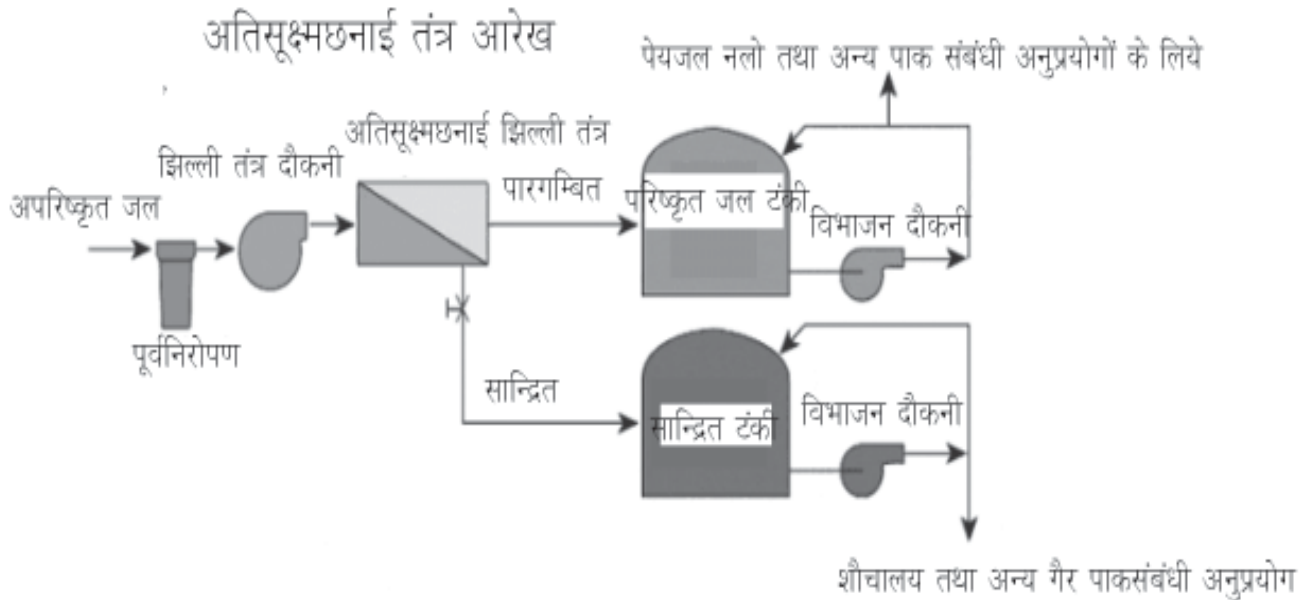
चित्र 5 — चरमछनाई विधि

छनाई से ज्यादा संचालन दाब की जरूरत होती है। संचालन दाब सामान्यतया लगभग 600 किलोपास्कल (90 प्रति वर्ग इंच) की होती है तथा यह ज्यादा से ज्यादा 1000 किलोपास्कल (150 प्रति वर्ग इंच) की हो सकती है। यह तंत्र लगभग सभी सिस्टो, जीवाणुओं, विषाणुओं तथा सीलनदार पदार्थों को निष्कासित कर सकता है। झिल्ली छनाई के बाद, यदि अवशिष्ट विसंक्रामकों को सम्मिलित किया जाता है तो यह डी बी पी के बनने से सुरक्षा प्रदान करने के लिये सर्वोत्तम है। अति सूक्ष्म छनाई झिल्ली क्षारीयता को भी निकाल देता है ऐसा उत्पाद जो कि जल को क्षयकर बनाता है तथा यह अपरिष्कृत जल को मिलाने तथा जल उत्पाद या क्षारीयता को जोड़ने का मूल्यांकन करता है जिससे कि संक्षारकता को कम करने की आवश्यकता हो सकती है। अति सूक्ष्म छनाई जल से कठोरता को भी निकाल देता है जिसकी वजह से अति सूक्ष्म छनाई झिल्ली को कभी-कभी 'मृदुकर झिल्ली' भी कहा जाता है। अति सूक्ष्म छनाई द्वारा कठोर जल निरुपण के लिये, झिल्ली पर कठोरता वाले आयनों के अवक्षेप को रोकने के लिये पूर्वनिरोपण की आवश्यकता होगी। फिर भी अति सूक्ष्म छनाई के लिये, सूक्ष्म छनाई तथा चरम छनाई से ज्यादा ऊर्जा की जरूरत होती है। हाल ही में यह तकनीक पेयजल से भारी धातु आयनों के पृथक्करण के लिये बहुत प्रसिद्ध हुआ है⁴⁵। अति सूक्ष्म छनाई की सरल विधि को चित्र 6 में दर्शाया गया है।

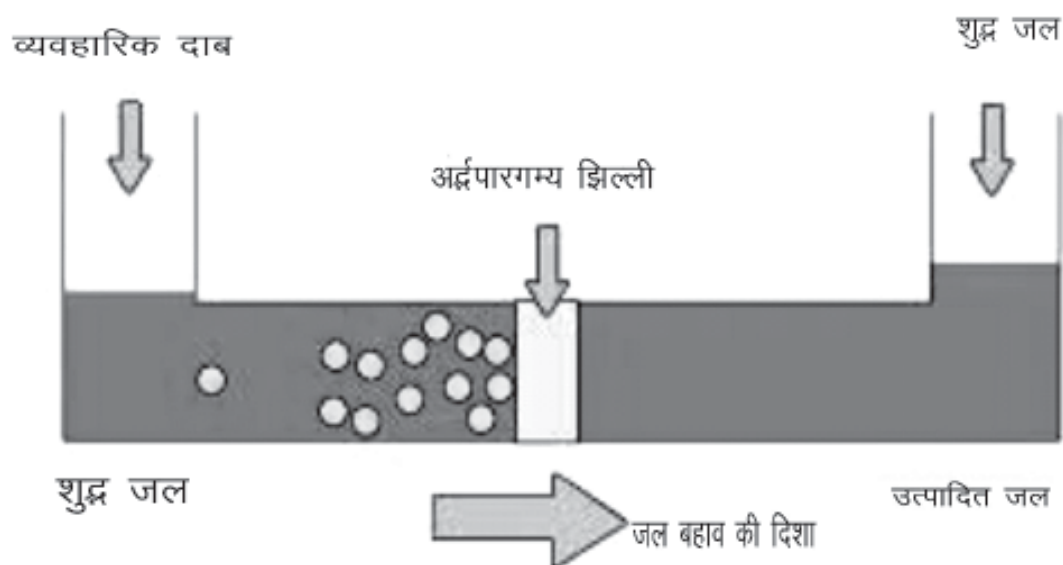
विपरीत परासरण : विपरीत परासरण, जल से लगभग सभी अकार्बनिक संदूषित पदार्थों को सफलतापूर्वक निकाल सकता है। विपरीत परासरण रेडियम, प्राकृतिक पदार्थों, कीटनाशकों, सिस्टो, जीवाणु तथा विषाणु को भी सफलतापूर्वक निकाल सकता है। विपरीत परासरण मुख्यतः तभी सफल होता है जब इसका श्रेणी में विविध ईकाईयों में होता है। जल की सुरक्षा को सुनिश्चित करने के लिये विसंक्रामकों की भी सलाह दी जाती है। विपरीत परासरण की सरल विधि को चित्र 7 में दर्शाया गया है⁴⁶⁻⁴⁹।

विपरीत परासरण के कुछ लाभ इस प्रकार हैं :

- यह सभी प्रकार के संदूषित पदार्थों तथा ज्यादा से ज्यादा घुलित गैर-आयनों को लगभग निकाल देता है।
- यह बहने में उदासीन होता है तथा कुल घुलित ठोसों के समान स्तर को बनाता है। यह छोटे तंत्रों में जहां पर जल की आवश्यकता में उच्च कोटि की समयानुकूल बदलाव में उपयुक्त होता है।
- यह बिना किसी निम्नतम प्रशिक्षित अवधि के तुरन्त संचालित होता है।
- यह निम्न कूड़ा-करकट में संभाव्य है।
- जीवाणु तथा कणों को भी निकाला जा सकता है।



चित्र 6 — अतिसूक्ष्मछनाई की सरल विधि



चित्र 7 — विपरीत परासरण की सरल विधि

- संचालन में सरलता तथा स्वचलित क्रिया की वजह से संचालकों को कम ध्यान देना पड़ता है तथा विपरीत परासरण छोटे तंत्रों में उपयोग करने के लिये उपयुक्त होता है।
- व्यर्थ जल (जैसे कि लवण जल विलयन) जो कि संभावित समस्या है, को व्यवस्थित करता है।
- किसी नमूने में उच्च स्तर की पूर्वनिरोपण की आवश्यकता होती है।
- झिल्लियों में दूषित होने की प्रवृत्ति होती है।
- निवेश्य की 25 से 50 प्रतिशत के बीच व्यर्थ जल को उत्पन्न करता है।

सामान्यतया पेयजल को बनाने के लिये सबसे उपयोगी विधि विपरीत परासरण होती है लेकिन इस समय अतिसूक्ष्म छनाई परंपरागत जल निरुपण से एक साध्य वैकल्पिक के रूप में उभर रहा है क्योंकि यह कम दाब पर संचालित होता है तथा इसमें विपरीत परासरण तंत्र से पुनर्प्राप्ति की दर ज्यादा होती है। अतिसूक्ष्म छनाई बहुत सी भूमिजल को मृदु बनाने में किफायती होता है जहां पर मटमैलापन कम होता है। पेयजल निरुपण में, सूक्ष्म छनाई या चरम छनाई के पीछे एक अतिसूक्ष्म छनाई या विपरीत परासरण के साथ भारी पदार्थों को निकालने में उपयोग किया जा सकता है जिससे कि कम पारगम्य झिल्लियों को दूषित होने को कम किया जा सकता है। विपरीत परासरण झिल्ली को दो पैमाने- पुनर्प्राप्ति की दर तथा अस्वीकृति दर से प्रदर्शित किया

जा सकता है। पुनर्प्राप्ति की दर से अभिप्राय है- जल के केवल उस भाग को जो कि विपरीत परासरण तंत्र से बहते हुये निरुपित जल के रूप में बाहर आता है। जल का वह भाग जो तंत्र में डाला जाता है, उसका उपयोग अस्वीकृत दूषकों को निकालने के लिये गंदे जल के रूप में होता है। पुनर्प्राप्ति की दर से दक्षता के पैमाने को आकलित किया जाता है जो इस प्रकार है-

$$\text{पुनर्प्राप्ति की दर} = \frac{\text{उत्पादित निरुपित जल का आयतन} \times 100}{\text{कुल निवेश्य जल का आयतन}}$$

अच्छे से निर्मित विपरीत परासरण तंत्र द्वारा बड़ी मात्रा में जल का उपयोग करके कम मात्रा में निरुपित जल के उत्पादन को दूर किया जाता है। बहुत से घरों के लिये बनाये गये विपरीत परासरण तंत्र से 20 से 30% पुनर्प्राप्ति की दर होती है। महत्वपूर्ण तकनीकियों को निम्नलिखित पत्र में सार दिया गया है।

निवेश्य जल से पुनः प्राप्त किये गये जल के उत्पाद का प्रतिशत ही पुनर्प्राप्ति की दर होती है। झिल्ली की सतह का सबसे महत्वपूर्ण गुण जल विरोधकता होती है जो कि बहुलक की रासायनिक संरचना पर निर्भर करती हैं। जल विरोधकता का मापन संपर्क कोण के द्वारा होता है जो कि झिल्ली तथा जल की बूंद के बीच होता है (संपर्क कोण 50 Å जलविरोधी पदार्थ को सूचित करता है)। आयनित क्रिया समूह, ध्रुवीय समूह, ऑक्सीजन या हाइड्रॉक्सिल समूह सामान्यतः बहुलक में बहुत ही जल स्नेही

होते हैं⁵⁰। दुर्भाग्यवश जलस्नेही पदार्थों की रासायनिक, यांत्रिकीय तथा उष्मीय प्रतिरोधकता कम होती है जो कि पेयजल निरुपण के उपयोग के लिये अनउपयुक्त होती है। इसके अलावा जल विरोधकता जल तथा झिल्ली के पदार्थों के बीच अन्तरसतह तनाव करता है। जल में उपस्थित घुलित, अध्रुवीय या जल विरोधी पदार्थ, झिल्ली की सतह पर एकत्रित होकर जल तथा झिल्ली के बीच के अन्तरसतह तनाव को कम करेगा। इस वजह से जलविरोधी झिल्ली, जलस्नेही झिल्ली से सामान्यतः ज्यादा आसानी से गंदगी से प्रभावित होती है क्योंकि इसका अन्तरसतह तनाव ज्यादा होता है⁵¹⁻⁵³। झिल्ली की सतह से सम्बन्धित दूसरे गुणों में सतह आवेश, खुरदुरापन तथा अणुभार की सीमा शामिल है। झिल्ली की सतह सामान्यतः ऋणावेशित होती है। यह जीटी पोटेन्शियल द्वारा मापी जाती है तथा सतह आवेश pH के साथ बदलता है। उदाहरण के लिये, पॉलीएमाइड झिल्ली के परीक्षण में सतह आवेश का pH के साथ बदलना कार्बोक्सिलिक तथा एमाइड क्रिया समूहों के आयनित होने की वजह से है। एक निश्चित pH पर जो कि प्रत्येक झिल्ली के पदार्थ के लिये विशिष्ट होता है, उसका जीटा पोटेन्शियल शून्य होता है। समवैद्युत बिन्दु के समान होता है। समवैद्युत बिन्दु के ऊपर, झिल्ली ऋणावेशित होती है जबकि समवैद्युत के नीचे यह धनावेश वहन करती है। तब भी pH की सीमा पर, पेयजल निरुपण के लिये, झिल्लियां विशिष्ट रूप से ऋणावेशित होती हैं। इसके अलावा जीटा पोटेन्शियल का मान झिल्ली के दूषित होने तथा संदूषणों की अस्वीकृति को प्रभावित करने के लिये एक महत्वपूर्ण कारक होता है। झिल्ली की सतह पर आवेश संदूषणों की अस्वीकृति में स्थिर वैद्युत प्रतिकर्षण के महत्व को प्रभावित कर सकती है। झिल्ली की सतह का खुरदुरापन दूषण की मात्रा को प्रभावित करने के लिये एक महत्वपूर्ण कारक हो सकता है क्योंकि खुरदुरी झिल्ली, चिकनी झिल्ली से ज्यादा दूषण अनुभव करती है⁵⁴। सूक्ष्मछिद्रित झिल्ली में छिद्र आकार विभाजन होता है। इस प्रकार, झिल्ली की औसत छिद्र का अनुमान, विभिन्न अणुभार वाले अक्रिय कार्बनिक यौगिकों के छानने के द्वारा किया जा सकता है तथा छिद्र के परिवहन प्रतिरूप का प्रयोग करता है⁵⁵। अणुभार की सीमा को झिल्ली के छिद्र आकार की विशेषता के लिये प्रायः उपयोग होती है। अणुभार की सीमा से अभिप्राय है किसी दिये गये झिल्ली के लिये विलेय के अणुभार की 90% अस्वीकृति के बराबर होती है⁵⁶। स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी तथा एटोमीक फोर्स माइक्रोस्कोपी तकनीक है जिसका उपयोग झिल्ली की सतह को देखने तथा चित्र विश्लेषण द्वारा औसत छिद्र के आकार को निर्धारित करने के लिये किया जा सकता है।

झिल्ली के पदार्थ : झिल्ली का पदार्थ भी किसी तंत्र को जानने के लिये एक महत्वपूर्ण कारक होता है। जो उस तंत्र में भौतिक रासायनिक परस्पर क्रिया द्वारा झिल्ली की अस्वीकृति प्रदर्शन को प्रभावित करता है। उदाहरण के लिये, बहुत से अध्ययन से यह स्पष्ट है कि मिश्र पॉलीएमाइड झिल्ली बहुत से सूक्ष्म प्रदूषकों के साथ-साथ कीटनाशकों की अस्वीकृति का प्रदर्शन सेल्यूलोज एसीटेट झिल्ली की तुलना में ज्यादा प्रदर्शित करती है⁵⁷⁻⁵⁹। यह व्यवहार सेल्यूलोज एसीटेट झिल्ली की उच्च ध्रुवीयता की विशेषता को बताता है जो कि उच्च ध्रुवीय रसायन की अल्प अस्वीकृति के लिये जिम्मेदार होता है⁵⁷। इसके विपरीत, अध्रुवीय ऐरोमेटिक पॉलीएमाइड झिल्ली अपेक्षाकृत ज्यादा अस्वीकृति प्रदर्शन दिखाती है। इसके साथ-साथ उच्च जल प्रवाह, बहुत कम मोटाई की विशेषता होती है जो कि उसकी प्रभावशाली सक्रिय परत (सतह) की विशेषता होती है तथा 10 नैनोमीटर से 500 नैनोमीटर के बीच बदलती रहती हैं।

बहुत से सूक्ष्म छनाई, चरम छनाई, विपरीत परासरण तथा अति सूक्ष्म छनाई झिल्लियां संश्लेषित कार्बनिक बहुलक होती हैं। सूक्ष्म छनाई तथा चरम छनाई झिल्लियां प्रायः एक ही पदार्थ से बनी होती हैं। लेकिन वे झिल्ली बनाने की विभिन्न शर्तों पर तैयार की जाती हैं। जिसकी वजह से छिद्र का आकार विभिन्न होता है। विशिष्ट सूक्ष्म छनाई तथा चरम छनाई बहुलकों में पॉलीविनायलेडिन फ्लोराइड, पॉलीसल्फोन, पॉलीएक्रीलोनाइड्राइल तथा पॉलीएक्रीलोनाइड्राइल- पॉलीविनायल क्लोराइड के को-पॉलीमर शामिल हैं। चरम छनाई झिल्लियों के लिये पॉलीइथरसल्फोन भी अक्सर इस्तेमाल किया जाता है। सूक्ष्म छनाई झिल्लियों के लिये सेल्यूलोज एसीटेट-सेल्यूलोज नाइट्रेट का मिश्रण, नाइलोन तथा पॉलीटेड्रालोरोएथिलिन भी शामिल हैं। विशिष्ट परासरण झिल्लियां विशिष्ट रूप से ऐरोमेटिक पॉलीएमाइड आलेपित या तो सेल्यूलोज एसीटेट या पॉलीसल्फोन की बनी होती हैं।

सूक्ष्म छनाई झिल्लियां, विपरीत परासरण झिल्लियों की तरह सेल्यूलोज एसीटेट के मिश्रण या पॉलीएमाइड के संयोजन से बनती हैं। ये चरम छनाई झिल्लियों का परिवर्तित रूप हो सकती हैं जैसे कि सल्फोनेटेड पॉलीसल्फोन। झिल्लियों को अकार्बनिक पदार्थों जैसे कि मृत्तिका कृति या धातु द्वारा भी बनाया जा सकता है। मृत्तिका कृति झिल्लियां सूक्ष्म छिद्रित, उष्मीय स्थरीय, रसायन अवरोधक होती है तथा ये प्रायः सूक्ष्म छनाई के लिये उपयोग की जाती हैं। मृत्तिका कृति झिल्लियों को विविध विधियों द्वारा बनाया जा सकता है जैसे कि सॉल-जेल विधि, चक्रण विधि, यथावत जलतापीय विधि, रासायनिक वाष्प अवस्था विधि, छिड़काव

बीज विधि इत्यादि। मृत्तिका कृति झिल्लियों की परंपरागत रचना में, छिद्रित आधार पर कणिका सॉल लगाया जाता है। मृत्तिका कृति झिल्लियों की लिये अकार्बनिक छिद्रित आधार की हमेशा आवश्यकता होती है तथा इसकी प्रकृति एवं संरचना मृत्तिका कृति झिल्लियों के गुणों को प्रभावित कर सकती है। एक लोकप्रिय आधार सिन्टर्ड एलुमिना का बना होता है जो कि महंगा नहीं होता है तथा आसानी से मिल जाता है। तब भी प्रतिकूल परिस्थितियां जैसे कि ऊंची कीमत तथा यांत्रिकीय भंगुरता उसके व्यापक उपयोग को अवष्टब्ध करती हैं। धात्विक झिल्लियां प्रायः स्टेनलेस स्टील की बनी होती हैं तथा बहुत ही बारीकी से छिद्रित हो सकती हैं। इनका मुख्य उपयोग गैस के पृथक्करण में होता है लेकिन उसे उच्च ताप पर जल के छानने या झिल्ली के आधार के रूप में भी किया जा सकता है।

विपरीत परासरण झिल्ली पृथक्करण, अत्यधिक आवश्यक रूप में विधि में इस्तेमाल किये गये झिल्ली के गुणों द्वारा नियंत्रण करती है। ये गुण झिल्ली के पदार्थ (लगभग हमेशा बहुलक होता है) के रासायनिक प्रकृति के साथ-साथ इसकी भौतिक संरचना पर निर्भर करता है। आदर्श विपरीत परासरण झिल्ली के लिये गुणों में शामिल हैं- यह रासायनिक तथा सूक्ष्मजीवी आक्रमण के लिये अवरोधकता होती है। यह लम्बे संचालन अवधि में यांत्रिकीय तथा संरचनात्मक स्थिर होता है तथा हर एक विशिष्ट तंत्र के लिये आवश्यक पृथक्करण गुण होता है। सबसे पहली अभिलेखबद्ध संश्लेषित झिल्ली 1867 में मोरीज ट्राउबे द्वारा बनायी गयी थी। उनकी अत्यधिक सफल झिल्ली कॉपर फ़ैरोसायनाइड की अवक्षेपित फिल्म थी जिसका उपयोग उन्होंने परासरण के अध्ययन में किया। उनकी प्रारम्भिक सफलता ऊष्मागतिकी तथा विसरण विधि के गतिकी कि पीछे के सिद्धान्त के अन्दर कई दशकों के अन्वेषण ने जन्म लिया। 1963 में, लोएब तथा सौरीराजन ने असममित सेल्यूलोज एसीटेट झिल्ली का प्रेक्षण किया जो कि परस्पर ऊंचा प्रवाह तथा अच्छे लवण की अस्वीकृति प्रदर्शित करता है। बहुलकीय पदार्थों का लाभ यह है कि इसे खोखले तंतु में ढाला जा सकता है जो कि अन्तर्निहित उच्च सतही भाग तथा आयतन के अनुपात की वजह से उच्च पृथक्करण उत्पादकता को प्रदर्शित करता है। इस प्रकार अत्यधिक व्यवसायिक रूप से उपलब्ध गैस पृथक्करण झिल्लियां, झिल्ली के सीमित प्रदर्शन के बावजूद भी बहुलक से बने होते हैं।

संश्लेषण की विधियां : यद्यपि, बहुलकीय विपरीत परासरण झिल्लियों को विकसित करने के लिये दो अलग-अलग तकनीकियों को अपनाया गया है जिसका नाम है- (1) असममित झिल्ली के लिये

फेज इनवर्जन विधि तथा (2) मिश्र झिल्ली के लिये अन्तरसतहीय बहुलकीय तकनीक। चरण-उल्टा एक विधि है जिसमें विलयन में उपस्थित बहुलक नियंत्रित तरीके से ठोस में परिवर्तित होता है। अवस्था में बदलाव विविध तरीके से हो सकता है जैसे कि विलायक का वाष्पन, ऊष्मीय अवक्षेपण, विसर्जन अवक्षेपण तथा वाष्प अवक्षेपण। सामान्यतः एक बहुलकीय विलयन किसी आधार पर (ग्लास प्लेट या बगैर बुने हुये कपड़े) फिल्म की तरह ढलाई चाक से ढला होता है। इसके बाद इस फिल्म को जमावट बाथ के अन्दर डुबा देते हैं जिसमें अविलायक होता है। तत्काल विलायक व अविलायक में अदला-बदली होती है जिसके उपरान्त अन्तरसतह पर तुरन्त अवस्था पृथक्करण तथा ठोसीकरण होता है। एक बार जब खाल बन जाती है, तो विलायक व अविलायक का विसरण विरोध कम होने लगता है तथा एक बहुत ही छिद्रित स्पष्ट आधारभूत संरचना विकसित हो जाती है। झिल्ली की आकृति संरचना तथा प्रदर्शन ढलाई विलयन के गुणों जैसे कि बहुलक का सान्द्रण, मूलभूत श्यानता तथा संरचना द्वारा प्रभावशाली ढंग से प्रभावित होती है। ढलाई विलयन के अन्दर तीसरे घटक को योज्य के रूप में प्रस्तुत करने से झिल्ली के प्रदर्शन को सुधारने का एक प्रभावी तरीका हो चुका है। इस योज्य का झिल्ली को बनाने की विधि पर बहुत से प्रभाव हो सकते हैं। चरम छनाई झिल्ली के आधार पर तिर्यक व्यवस्था पॉलीएमाइड की एक परत को जमा करने के लिये अन्तरसतही बहुलकीकरण उपयोग में लाया जा चुका है। झिल्ली के कार्य को अन्तरसतही बहुलकीकरण में प्रयुक्त एकलक द्वारा मुख्यतः निर्धारित किया जाता है। यहा तक कि एकलक की संरचना में छोटे से बदलाव से झिल्ली के गुणों में प्रभावशाली ढंग से प्रभावित हो सकता है। झिल्ली का प्रदर्शन एवं आकार संरचना कई संश्लेषित नियमों पर आधारित होता है जैसे कि अभिकारकों की सान्द्रता, क्रिया का समय तथा परिणामी फिल्म का पश्चनिरूपण अति सूक्ष्म छनाई (या असंहत विपरीत परासरण) झिल्ली, विपरीत परासरण झिल्ली पृथक्करण के क्षेत्र में आधुनिक आविष्कार हैं। ये झिल्लियां, व्यवसायिक विपरीत परासरण की तुलना में, निम्न दाब पर विशिष्ट रूप से बहुत ज्यादा जल प्रवाह करती हैं। अतिसूक्ष्म छनाई झिल्लियां सामान्यतः आवेशित (कार्बोक्सिलिक समूह, सल्फोनिक समूह आदि) होती हैं तथा इस परिणाम से आयन का प्रतिकर्षण लवण की अस्वीकृति को निर्धारित करने में एक मुख्य कारक होता है। अतः ऋणावेशित अतिसूक्ष्म छनाई झिल्ली द्वारा सबसे ज्यादा आवेष्टित आयन जैसे कि सल्फेट आयन, एक संयोजक आयन जैसे कि क्लोराइड आयन से ज्यादा अस्वीकृति देता है। ये झिल्लियां 200 से 500 के ऊपर अणुभार वाले कार्बनिक पदार्थ की भी अच्छी अस्वीकृति देता

हैं⁶⁶⁻⁶⁸। सबसे महत्वपूर्ण अतिसूक्ष्म छनाई झिल्लियां, मिश्रित झिल्लियां होती हैं जो कि अन्तरसतहीय बहुलकता द्वारा बनायी जाती हैं। अतिसूक्ष्म छनाई झिल्ली का बहुत अधिक उपयोग करने का एक उदाहरण है - ऐरोमेटिक पाइपेराइजिन। अधिकांश व्यवसायिक पतली फिल्म मिश्र झिल्लियों की विशेषता ऋण आवेश द्वारा होती है। जो कि झिल्ली निवेश्य जलों में उपस्थित ऋणावेशित दूषकों के अधिशोषण को कम करने की प्रवृत्ति होती है तथा घुलित लवणों की अस्वीकृति को बढ़ाता है^{69,70}। झिल्ली की सतह पर ऋणावेशित अशुद्धियों का स्थिरवैद्युत प्रतिकर्षण, सभी अस्वीकृति प्रदर्शन को बढ़ाने की आशा करता है। यह वर्ग एवं उनके सहयोगियों⁷¹ (1997) द्वारा प्राप्त परिणाम से सहमति है जहां ऋणावेशित मेकोप्रोप (उदासीन पीएच पर) की अस्वीकृति, अनावेशित के एक पैमाने से बहुत ज्यादा थी।

झिल्लियों का सतह रूपान्तरण : सतह रूपान्तरण साधारणतः बनी हुयी झिल्लियों की झिल्ली प्रदर्शन को बढ़ाने के लिये उपयोग किया जाता है।

- **सतह कार्यशीलता :** झिल्ली की सतह पर प्लाज्मा निरूपण या पारंपरिक कार्बनिक क्रियाओं जैसे कि सल्फोनेशन द्वारा क्रियासमूहों को लगाया जा सकता है। रूपान्तरित झिल्लियां क्रियासमूहों के आधार पर यद्यपि ऋणावेशित या धनावेशित होती थीं तथा उनका प्रदर्शन विविध लवणों के लिये महत्वपूर्ण ढंग से बदलता था^{72,73}। इसलिये इस विधि में जल प्रवाह तथा लवण अस्वीकृति बढ़ जाती थी।

- **तिर्यक व्यवस्था :** झिल्लियां प्रायः चरण विपरीतन विधि द्वारा घुलनशील बहुलकों से बनायी जाती हैं। उनका विलायक प्रतिरोधकता सामान्यतौर पर कम होता है तथा इसे तिर्यक व्यवस्था द्वारा सुधारा जा सकता है। बहुत सी योजनाओं को अपनाया जा चुका है जिसमें दो या तीन क्रियासमूह वाले अणुओं से क्रिया, आधार निरूपण द्वारा जल अपघटन तथा पराबैंगनी या आयन बीम विकिरण शामिल हैं। यह बदलाव झिल्ली की सतह आकार संरचना को रूपान्तरित करता है तथा झिल्ली के ऋणावेश को भी कम करता है। ऐसा निरीक्षण किया गया कि रूपान्तरित झिल्लियों का दूषण होना, प्राकृतिक झिल्लियों से कम तीव्र होता है⁷⁴।

- **निरोपण :** बहुत सी बहुलकीय झिल्लियों में उच्च ऊष्मीय, रासायनिक तथा यांत्रिक स्थिरता होती है। वे आसानी से दूषण के लिये अतिसंवेदनशील होती हैं अर्थात् झिल्ली की सतह पर विलयों का अनिश्चित अधिशोषण होता है तथा छिद्रों में तीव्र प्रवाह में गिरावट आयी है। इस प्रकार झिल्ली की सतह रूपान्तरण

का सबसे महत्वपूर्ण उद्देश्य झिल्ली की दूषण प्रकतरोधकता को सुधारना है। झिल्ली की सतह पर जलस्नेही बहुलकों की परत का निरोपण करना एक सामान्य योजना है। जलस्नेही सतह दूषणों के लिये कम संवेदनशील सिद्ध हो चुकी हैं तथा प्रायः प्रतिवर्ती होती हैं। निरोपण तकनीक में पराबैंगनी प्रकाश आयनीकरण, ऑक्सीकरण-अपचयन दीक्षा तथा प्लाज्मा दीक्षा शामिल हैं।

- **लेपन :** निरोपण में, जलस्नेही वर्ग, झिल्ली की सतह से सह संयोजक बंध से जुड़ी होती हैं। इस वजह से झिल्ली की विपेशता स्थायी रूप से बदल जाती है तथा झिल्ली की लंबे समय तक स्थिरता घट जाती है⁷⁵। लेपन विधि में, फिर भी प्रारंभिक झिल्ली का गुणधर्म बना रहता है तथा झिल्ली की सतह के सर्वोच्च स्थान पर अप्रदूषक गुणों का आचरण करने वाली जलस्नेही फिल्म एक नयी परत का लेपन जलविरोधी पारस्परिक क्रिया, हाइड्रोजन बंधता, वान्डर वाल आकर्षण तथा स्थिर वैद्युत परस्पर सम्बन्ध द्वारा किया जाता है। दो लेपन विधियों का बारंबार उपयोग किया जाता है- गहरा लेपन तथा गतिशील लेपन। गहरे लेपन में, झिल्ली को लेपन विलयन के अन्दर डुबाया जाता है तथा बहुलक पदार्थों को झिल्ली की सतह पर शोषित कराया जाता है^{76,77}। गतिशील लेपन गतिरोध या तिर्यक बहाव द्वारा किया जा सकता है। झिल्लियों को छनाई सेल में डाल दिया जाता है जिसमें सतह को लेपन विलयन के सामने रखते हैं। इसके बाद लेपन विलयन को दाब के साथ घुमाया जाता है। इसके परिणाम स्वरूप झिल्ली की सतह के मूल स्थान पर बहुलक फिल्म की एक परत का निर्माण होता है। आधुनिक वर्षों में, झिल्ली के आवेश तथा जलस्नेहीता को रूपान्तरित करने के लिये बहुविद्युत अपघट्य का उपयोग लेपन पदार्थों के रूप में हो चुका है। ऐसा लेपन बहुपरतीय या एक परतीय हो सकता है तथा यह सामान्य कार्बनिक दूषकों जैसे कि प्रोटीन तथा नम पदार्थों के लिये उच्च प्रतिरोधकता दर्शाता है।

- **झिल्ली के भाग :** झिल्ली के मुख्य 4 भाग होते हैं-प्लेट एण्ड फ्रेम, ट्यूबुलर, स्पाइरल वुन्ड तथा खोखला तंतु (चित्र 3)। प्लेट एण्ड फ्रेम भाग सबसे सरल समाकृति है जिसमें दो एण्ड प्लेट होती हैं- चपटी सीट झिल्ली तथा स्पेसर्स। ट्यूबुलर भाग में, झिल्ली प्रायः नली के अन्दर होती है तथा निवेश्य विलयन को नली के द्वारा भरा जाता है। उद्योगों में अति सूक्ष्मछनाई या विपरीत परासरण झिल्लियों के लिये सबसे प्रसिद्ध भाग स्पाइरल वुन्ड भाग हैं। यह भाग सपाट चादर झिल्ली होती है जो छिद्रण पारगम्य एकत्र नली के चारों ओर आच्छादित होती है। निवेश्य झिल्ली के एक तरफ से बहता है। पारगम्य, खोखले तंतु भाग पर एकत्र

होता है जो समुद्री जल के अलवणीकरण के लिये उपयोग होता है, जिसमें दाब नलिका में खोखले तंतु के बंडल होते हैं (3)। इसमें सेल-साइड समाकृति हो सकती हैं जहां से निवेश्य तंतु के बाहर बराबर बहता है। खोखले तंतु भाग का उपयोग बोर-साइड निवेश्य समाकृति के लिये भी किया जा सकता है जहां पर निवेश्य तंतु के द्वारा घूमता है। खोखले तंतु को दूषित जल निरूपण के लिये नियुक्त किया जाता है तथा झिल्ली में बायोरियेक्टर्ड का इस्तेमाल दाब नलिका में हमेशा नहीं होता है। निवेश्य विलयन में तंतु के बंडल को निलंबित किया जा सकता है तथा पारगम्य को तंतु के एक सिरे से एकत्रित किया जाता है।

छिद्रित माध्यम के द्वारा फैलाव : पेयजल निरूपण में पारगम्य एक मूल्यवान उत्पाद होता है। इसलिये छिद्रित माध्यम के द्वारा जल के बहाव को प्रभावित करने वाले पैमानों को पहचानना रुचि की बात है। एक छिद्रित माध्यम जैसे कि चरम छनाई तथा सूक्ष्म छनाई झिल्लियों के लिये, बहाव डार्सी नियम (समीकरण 2.15) का पालन करती हैं। यह समीकरण यह दर्शाता है कि झिल्ली की ओर द्रव का वेग, झिल्ली के जलदाब पारगम्यता गुणांक तथा झिल्ली की ओर प्रमुख हानि के अनुक्रमानुपाती होता है। तब भी, द्रव का वेग, झिल्ली की मोटाई के व्युत्क्रमानुपाती होता है। झिल्ली क्षेत्र पर मानकीकृत झिल्ली द्वारा जल बहाव के लिये आदर्श समीकरण डार्सी नियम से उत्पन्न हुआ तथा यह आगामी तरीके से अभिव्यक्त होता है।

द्रव श्यानता के अलावा झिल्ली की मोटाई, झिल्ली प्रतिरोध गुणांक को प्रभावित करती है। फिर भी ध्यान देने वाली महत्वपूर्ण बात है कि आयतनमितीय प्रवाह झिल्ली के मूलभूत प्रतिरोध के बजाय मुख्य रूप से झिल्ली के दूषकों द्वारा प्रभावित होगी।

झिल्ली के दूषक : जैसा कि कोरोस एवं उनके सहयोगियों (1996) ने वर्णन किया है- “वह विधि जिसके परिणामस्वरूप झिल्ली के प्रदर्शन की हानि होती है। यह बाह्य सतह के छिद्र द्वार या छिद्र के अन्दर निलंबित या घुलित पदार्थों के जमा होने की वजह से होती है, प्रदूषक कहलाता है।” जल बहाव में कमी द्वारा या ट्रांसमेम्ब्रेन दाब (TMP) में वृद्धि द्वारा प्रदर्शन में हानि की विशेषता को बताया जाता है। प्राकृतिक जल को छानते समय बहाव में कमी का मूल्यांकन करने के लिये, पारगम्यता या स्वच्छ जल बहाव से आकलित किया जा सकता है।

झिल्ली का दूषित होना : झिल्ली का दूषित होना झिल्ली के प्रदर्शन के लिये एक मुख्य चुनौती है। झिल्ली का दूषित होने से अभिप्राय है- झिल्ली की सतह पर तथा झिल्ली के छिद्र के अन्दर अणुओं का जमा होना जिसकी वजह से प्रवाह कम हो जाता है।

झिल्ली के दूषित होने से दूसरी हानि झिल्ली की ट्रांसमेम्ब्रेन दाब में वृद्धि के साथ-साथ उसकी अखंडता की हानि के (जैवभार निकालने की वजह से) कारण उसकी पारगम्यता में संदूषण होने की सम्भावना होती है। झिल्ली का दूषित होने को क्रियाविधि प्रतिवर्त्यता या झिल्ली की अखंडता की हानि के आधार पर वर्गीकृत किया जा सकता है। चार मुख्य क्रियाविधियों को परिभाषित किया जा सकता है- केक का बनना, रसोवशोषण, सान्द्रता ध्रुवण तथा छिद्र अवरोध। छिद्र अवरोध (अर्थात् पदार्थों का छिद्र में प्रकृति के अनुसार धंसा होना) तथा केक का बने (अर्थात् सतह पर कणों का जमा होना) की क्रियाविधि पता लगाने या समझने के लिये अधिक जटिल क्रियाविधि जैसे कि सान्द्रता ध्रुवण (अर्थात् झिल्ली-विलयन के अन्तर सतह पर विलेयों की सान्द्रता) तथा रसोवशोषण (अर्थात् शोषण जिसमें कि रसायनिक क्रियायें शामिल हैं) से बहुत आसान है। चार मुख्य तरीके अवरोधों में (हर्मिया मॉडल के अनुसार) सम्पूर्ण अवरोध, माध्यमिक अवरोध, आदर्श अवरोध तथा केक की परत का बनना भी शामिल हैं⁷⁹⁻⁸¹। सम्पूर्ण अवरोध की क्रियाविधि में, झिल्ली छिद्र के प्रवेश पर सभी अणुओं द्वारा जो कि झिल्ली की सतह पर पहुंच जाते हैं, जिसके कारण सम्पूर्ण अवरोध होता है। माध्यमिक अवरोध की क्रियाविधि में, झिल्ली छिद्र का अणुओं द्वारा जो कि झिल्ली की सतह पर पहुंचते हैं, अवरोध होता है लेकिन अणुओं का, अणुओं पर जो कि पहले से ही व्यवस्थित हैं, जमाव हो सकता है। आदर्श अवरोध मॉडल में, कणों का झिल्ली के छिद्र में प्रवेश होता है तथा छिद्र दीवार पर जमा हो जाते हैं। जितनी ज्यादा पारगम्यता झिल्ली की द्वारा बहती है, झिल्ली छिद्रों का अनुप्रस्थ काट क्षेत्रफल घटता जाता है। ऐसा माना जाता था कि झिल्ली छिद्र की लम्बाई तथा व्यास स्थिर होता है। केक की परत का बनना क्रियाविधि में, झिल्ली की सतह पर केक की परत बनती है। कणों का आकार झिल्ली छिद्र से बड़ा होता है (जैसा कि सम्पूर्ण अवरोध क्रियाविधि में होता है) तथा इस प्रकार झिल्ली छिद्र के अन्दर नहीं जा सकती है⁸²। झिल्ली की सतह पर अणुओं का जमाव होता है तथा वे पहले से ही व्यवस्थित अणुओं पर भी जमा हो जाते हैं।

प्रतिवर्त्यता के आधार पर, दूषित होने को प्रतिवर्त्य तथा अप्रतिवर्त्य दूषित होने में वर्गीकृत किया जा सकता है। प्रतिवर्त्य दूषित, केक बनने तथा सान्द्रण ध्रुवण की वजह से होती है। इसे भौतिक या रसायनिक सफाई द्वारा निकाला जा सकता है। अप्रतिवर्त्य दूषित, रसोवशोषण तथा छिद्र अवरोध के परिणामस्वरूप होता है तथा इसे बिना किसी विस्तृत रसायनिक सफाई के दूर किया जा सकता है⁸³। कारक के आधार पर दूषकों को जैविक, कोलायडी, कार्बनिक तथा अकार्बनिक दूषकों में विभाजित किया जा सकता है। कार्बनिक

सारणी 1 — झिल्लियों के लिये कुछ बहुलक

झिल्ली के पदार्थ	रचना	अनुप्रयोग
सी.ए.: सेल्यूलोज एसीटेट	ढलाई/गलन निष्कर्षण	विपरीत परासरण, चरमछनाई, सूक्ष्मछनाई, अपोहन, गैस पृथक्करण
सी.टी.ए.: सेल्यूलोज ट्राईएसीटेट	ढलाई	विपरीत परासरण
सी.एन.: सेल्यूलोज नाइट्रेट	ढलाई	चरमछनाई
पी.ई.: पॉलीएथीलीन	गलन निष्कर्षण	परवैपोरेशन, गैस पृथक्करण
पी.वी.सी.: पॉलीविनाइल क्लोराइड	ढलाई	सूक्ष्मछनाई
पी.वी.डी.एफ.: पॉलीविनाइलिडीन लोराइड	ढलाई	चरमछनाई, सूक्ष्मछनाई, विद्युत अपोहन
पी.टी.एफ.ई.: पॉली टेट्राफ्लोरो एथीलीन	गलन निष्कर्षण	सूक्ष्मछनाई, विद्युत अपोहन
पी.ए.एन.: पॉलीएक्रिलो नाइट्राइल	ढलाई	अपोहन, चरमछनाई
पी.एम.एम.ए.: पॉलीमेथाइल मेथाक्रीलेट	ढलाई	अपोहन
पी.वी.ए.: पॉलीविनाइल एल्कोहॉल	ढलाई	अपोहन, परवैपोरेशन
पी.पी.: पॉलीप्रोपीलीन	गलन निष्कर्षण	सूक्ष्मछनाई, झिल्लि वाष्पित
पी.एम.पी.: पॉलीमेथाइल पेन्टेनल	गलन निष्कर्षण	गैस पृथक्करण
पी.ई.टी.: पॉलीएथीलीन टेराफ्थीलेट	गलन निष्कर्षण	सूक्ष्मछनाई
पी.बी.टी.पी.: पॉलीब्यूटाइलीन टेराफ्थीलेट	गलन निष्कर्षण	गैस पृथक्करण
पी.सी.: पॉलीकार्बोनेट	ढलाई	अपोहन, सूक्ष्मछनाई
पी.डी.एम.एस.: पॉली डाईमेथाइल सीलॉक्जेन	ढलाई	गैस पृथक्करण, परवैपोरेशन
पी.टी.एम.एस.पी.: पॉली ट्राईमेथाइल सीलाइल प्रोपाइन	ढलाई	गैस पृथक्करण
पीएसयू.: पॉली सल्फोन	ढलाई	चरमछनाई
पीईएसयू.: पॉली ईथर सल्फोन	ढलाई	चरमछनाई
पी.पी.ओ.: पॉली फेनीलीन ऑक्साइड	गलन निष्कर्षण	चरमछनाई, गैस पृथक्करण
पी.ए.: पॉलीऐमाइड	ढलाई	चरमछनाई
पी.ई.बी.ए.: पॉली ईथर ब्लॉक ऐमाइड	ढलाई	परवैपोरेशन
पी.ई.ए.: पॉली ईथर ईमाइड	ढलाई	गैस पृथक्करण
पी.ए.आई.: पॉली ऐमाइड ईमाइड	ढलाई	गैस पृथक्करण, चरमछनाई
पी.पी.एन.: पॉली फॉस्फेजीन	ढलाई	गैस पृथक्करण, परवैपोरेशन
पी.ई.ई.के.: पॉली ईथर ईथर कीटोनगलन	निष्कर्षण/ढलाई	गैस पृथक्करण

सारणी 2 — झिल्ली दूषण नियंत्रण के लिये सामान्य योजना

प्रत्यक्ष विधियाँ

नियतकालिक हाइड्रोलिक या रासायनिक सफाई

आवेगी संभरण

विक्षोभ प्रोत्साहक

डीन जलावर्त

चक्रीय कंपायमान झिल्ली

बाह्य वायु संचारण

अन्दर की ओर वायु छिड़काव

अप्रत्यक्ष विधियाँ

झिल्ली थक्का द्वारा पूर्वनिरोपण

वायु प्लवन द्वारा पूर्वनिरोपण

पी ए सी संकलन

झिल्ली सतह रूपान्तरण

आदर्श संचालन शर्त का चुनाव

संचालन प्रणाली का बदलना

पोर्टर 1990

बूनथेनोन एवं उनके सहयोगी 1991

शेन एवं प्रोबस्टीन 1979

मल्लूबोटला एवं बेलफोर्ट 1997

रीड एवं उनके सहयोगी 1997

सिल्वा एवं उनके सहयोगी 2000

कसाबुड एवं उनके सहयोगी 1997

चेलम एवं उनके सहयोगी 1997

ब्रेगेटा एवं उनके सहयोगी 1997बी

एधाम एवं उनके सहयोगी 1991

विज्जर एवं चेलम 1999

बेलफोर्ट एवं उनके सहयोगी 1994

कोटे एवं उनके सहयोगी 1998

गंदगी अणुओं के आकार, संरचना तथा कार्बनिक पदार्थों के रासायनिक प्रकृति जैसे कि स्टेरीसिटी, ध्रुवणता, क्रियासमूह तथा हाइड्रोजन बंध से सम्बन्धित होती है। कार्बनिक गंदगी झिल्ली के ऊपर कार्बनिक पदार्थों के शोषण तथा अवक्षेपण के परिणाम से होती है तथा यह निवेश्य जल के धनायनों के परस्पर सम्बन्धों से प्रभावित होती है। जब निवेश्य जल मुख्यतः जलस्नेही एन ओ एम से युक्त होता है, झिल्ली का दूषित होना कार्बनिक के बजाय कोलायडी होता है⁸⁴। कार्बनिक तथा कोलायडी गंदगी की वजह से महत्वपूर्ण प्रवाह घटता है⁸⁵।

झिल्ली प्रतिरोध समीक्षा : विविध दूषकों की क्रियाविधि की वजह से प्रतिरोध के दूषक व्यवहार के पता लगने के आधार पर निर्धारित किया जाता है। प्रतिरोध का परिकलन⁸⁶ से स्वीकार किये गये श्रेणी में प्रतिरोध मॉडल से किया गया जो कि निम्नलिखित समीकरण से प्रस्तुत किया जाता है-

$$J = \Delta P / \eta(R_m + R_p + R_c)$$

जहां J पर पारगम्यता प्रवाह [Kg.m⁻²s⁻¹] ΔP ट्रांसमेम्ब्रेन दाब [Kg.m⁻²s⁻¹] η सक्रिय श्यानता [Kg.m⁻¹s⁻¹] तथा R प्रतिरोध [m²Kg⁻¹] सूचित करता है, R_m झिल्ली जलदाब प्रतिरोध, R_p छिद्र अवरोध के कारण प्रतिरोध तथा R_c केक बनने के कारण प्रतिरोध होता है।

झिल्ली के दूषित होने के प्रभावित या सहायक कारक

- **छिद्र आकार :** छिद्र आकार बेहतर छनाई के लिये एक महत्वपूर्ण कारक होता है। यह आदर्श होना चाहिये। इसके नीचे झिल्ली प्रतिरोध, पारगम्यता बहाव को बाधित करता है तथा इसके ऊपर तीव्र झिल्ली का दूषण प्रवाह को कम कर देता है⁸⁷।

- **सान्द्रता :** सान्द्रता का बढ़ना सामान्यतः पारगम्यता प्रवाह को कम कर देता है। यह झिल्ली की प्रतिधारण प्रकृति तथा अप्रतिवर्त्य झिल्ली के दूषण को प्रभावित करता है⁸⁸।

- **विलयन का पीएच तथा आयनिक क्षमता भी झिल्ली की गंदगी को प्रभावित करती है।**

- **घटकों का पारस्परिक प्रभाव :** निवेश्य विलयन में बड़े अणुओं का उपस्थित होना, झिल्ली द्वारा छोटे अणुओं के बहाव में स्टेरित प्रतिरोध की वजह होती है।

कुछ बहुलकीय झिल्लियाँ तथा उनमें होने वाली छनाई प्रतिरोध अवयवों को सारणी-1 व सारणी-2 में दर्शाया गया है^{72-77,91-96}।

- **शुद्धीकरण एवं संग्रहों का निष्कासन :** बड़े अणुभार घटक या बड़ी शृंखला (उदाहरण जैसे कि प्रोटीन शृंखला) बड़े झिल्ली छिद्र को बन्द कर देती है, असंगत प्रवाह की हानि होती है। ये झिल्ली की सतह पर एक विशिष्ट दूषक की परत के निर्माण के लिये उत्प्रेरक या बीज की तरह कार्य कर सकती है⁹⁷।

- **झिल्ली की सफाई :** जब गंदगी होती है तब सहनीय सीमा के नीचे प्रवाह घटता है। गंदगी को प्रकृति के अनुसार या रासायनिक सफाई द्वारा हटा देना चाहिये। सफाई द्वारा बहुत से दूषक दक्षता से हट जाते हैं तथा झिल्ली को नुकसान पहुंचाये बिना, झिल्ली के गुणों को पहले जैसा कर देते हैं⁹⁸। भौतिक सफाई विधियाँ यांत्रिक बल पर आधारित होती हैं जो कि झिल्ली की सतह पर से मुख्यतः गंदगी को हटाती या निकाल देती हैं। झिल्ली के लिये सबसे अच्छी सफाई विधियों में फारवर्ड फ्लशिंग, बैकवर्ड फ्लशिंग तथा बैकवाशिंग प्रयोग में लायी जाती हैं। दूसरी विधियाँ जैसे कि वाइब्रेशन, एयर स्पारजिंग तथा कार्बन डाइऑक्साइड बैक परमीएशन का भी उपयोग किया जा सकता है। बैकवाशिंग, फारवर्ड फ्लश से ज्यादा प्रभावी भौतिक सफाई विधि है क्योंकि ये झिल्ली की सतह से जुड़े दूषकों को दूर कर देती है तथा झिल्ली के छिद्रों के अन्दर फंस जाती है जबकि फारवर्ड फ्लश मुख्यतः झिल्ली की सतह से चिपके दूषकों को प्रभावित करती है⁹⁹। फिर भी बैकवाश को अति सूक्ष्म छनाई झिल्लियों के साथ सामान्यतया उपयोग नहीं करते क्योंकि ये स्पाइरल वुंड संरचना को नुकसान पहुंचा सकती हैं, (उदाहरण के लिये आधार परत से पतली फिल्म परत के पृथक्करण के द्वारा¹⁰⁰)। झिल्ली की सतह पर एकत्रित केक परत को हटाने तथा झिल्ली छिद्र को बन्द करने से रोकने के लिये अल्ट्रासोनीकेशन भी एक बहुत प्रभावी विधि है¹⁰¹। दूसरी विधियाँ जैसे कि वाइब्रेशन, एयर स्पारजिंग¹⁰², स्फॉन्ज वॉल क्लीनिंग¹⁰³ तथा कार्बन डाइऑक्साइड बैक परमीएशन का भी उपयोग किया जा सकता है। रासायन सफाई विधियाँ रासायनिक अभिक्रियाओं पर आधारित होती हैं जो कि दूषकों के बीच ससंजक बल तथा दूषकों एवं झिल्ली सतह के बीच आसंजक बल को कमजोर कर देती है। इस प्रकार रासायनिक सफाई अस्वीकृत पदार्थों को हटा देती हैं जो कि झिल्ली पर भौतिकीय या रासायनिक शोषित होती है¹⁰⁴। रासायनिक सफाई की प्रभावशीलता सफाई विलयन की मात्रा, ताप, पी एच, तथा सान्द्रता पर निर्भर करती हैं। ध्यान देने वाली बात यह है कि रासायनिक सफाई ऊंचे ताप तथा ऊंचे पी एच पर बहुत प्रभावशाली होती हैं। रासायनिक मार्जक का चुनाव सफाई दक्षता के लिये संकटपूर्ण है तथा गलत चुनाव अप्रतिवर्त्य प्रवाह की हानि या अस्वीकृति की ओर ले जा सकता है।

छनाई की विधियाँ

- **कार्बनिक झिल्ली छनाई** : कार्बनिक झिल्लियों को भी दो श्रेणियों में विभक्त किया जाता है -

(1) अभिन्न सम्पूर्ण पतली झिल्ली तथा (2) पतली मिश्र झिल्ली।

अभिन्न सम्पूर्ण पतली झिल्ली में प्रायः उसी पदार्थ का एक पतली छिद्रित आधार की आवश्यकता होती है। पृथक्करण सतही परत पर होता है जबकि आधार, झिल्ली से जल की निकासी के लिये एक लगभग प्रतिरोध मुक्त मार्ग उपलब्ध कराता है। जलीय झिल्लियों के लिये बहुलकों में से एक सेल्युलोज एसीटेट का प्रयोग किया जाता था तथा इसे अति सूक्ष्म छनाई से लेकर विपरीत परासरण क्षेत्र के गुणों से युक्त झिल्ली को बनाने में प्रयोग किया गया है। सेल्युलोज एसीटेट की मुख्य हानि इसका सीमित प्रचालन ताप है (30°C से कम तथा पीएच की सीमा (लगभग 3-5)। कुछ दूसरे पदार्थ जैसे कि पॉलीइथरसल्फोन, पॉलीएक्रीलोनाइड्राइल, पॉलीप्रोपीलीन, पॉलीटेड्रालोरोएथीलीन (टेफ्लॉन) तथा पॉलीविनाइल फ्लोरीडीन शामिल हैं। पॉलीइथरसल्फोन का बहुतायत उपयोग चरम छनाई में किया जाता है तथा इसका उपयोग अति सूक्ष्म छनाई तथा विपरीत परासरण विधि के लिये आदर्श अभिकारक आधार के साथ किया जा सकता है। पॉलीविनाइल फ्लोरीडीन तथा पॉलीप्रोपीलीन का उपयोग सूक्ष्मछनाई के लिये किया जाता है। झिल्ली पृथक्करण के क्षेत्र में मिश्र फिल्म का विकास होने से एक नये युग का प्रारम्भ हुआ है। पतली मिश्र झिल्ली में छिद्रित बहुलकीय आधार झिल्ली के ऊपर मूल स्थान पर बहुलकीय पतली अवरोध परत का समाविष्ट होता है। छिद्रित परत सामान्यतया फेज इनवर्जन तकनीक, अन्तरसतहीय बहुलकता के साथ तिर्यक व्यवस्था द्वारा बनायी जाती है। झिल्ली बनाने वाले मुख्य पदार्थ पॉलीयूरिया, पॉलीएमाइड, पॉलीयूरियाएमाइड, पॉलीइथर एमाइड तथा अन्य हैं। सूक्ष्म छिद्रित आधार को पॉलीसल्फोन, पॉलीइथरसल्फोन, पॉलीइथरकीटोन, पॉलीविनाइल डाई फ्लोरीडीन या पॉलीएक्रीलोनाइड्राइल द्वारा बनाया जाता है। विपरीत परासरण आधार झिल्ली के लिये पॉलीसल्फोन बहुलक का प्रयोग अत्यधिक व्यापक रूप से किया जाता है।

पतली परत में अति सूक्ष्म कणों के समायोजन से अतिरिक्त लाभ देता है। स्वयं फिटिंग द्वारा अति सूक्ष्म कणों का समायोजन अतिरिक्त बहुलकता विधि या सतही लगाव में होता है। अतिसूक्ष्म मिश्रित पतली फिल्म के बनने से शुद्ध जल की पारगम्यता, जलविरोधकता तथा फुलिंग प्रभाव का कम होने में वृद्धि होती है। बड़ी हुयी पारगम्यता, नये दोष के बनने से सम्भव है।

झिल्ली पृथक्करण के बारे में सर्वप्रथम कैरे एवं उनके सहयोगियों¹⁰⁵ ने 1976 में बताया था। इस विधि में जल निरुपण के लिये अर्द्धचालक आधारित झिल्ली पर अभिक्रियाशील सतह का प्रयोग किया जाता था। प्रकाश उत्प्रेरण में, अर्द्धचालक अपने बैंड अन्तराल ऊर्जा से ज्यादा फोटॉन ऊर्जा का शोषण तथा इलेक्ट्रॉन-होल जोड़ी बनाने का काम करता है। उदाहरण के लिये, अन्तरसतही बहुलकीकरण द्वारा पॉलीसल्फोन से सहयोग की गयी स्वयं सफाई पॉलीएमाइड/टाइटीनिया झिल्ली में तिर्यक व्यवस्था पॉलीएमाइड तथा टाइटीनिया परतों के बीच सिलिकॉन की एक परत होती है। इस झिल्ली का प्रवाह पुनःप्राप्ति, इस झिल्ली के लिये सर्वश्रेष्ठ पायी गयी है। कुछ मामलों में, मृत्तिका कृति सतह के सक्रिय अच्छे प्रदर्शन के लिये बहुलक के स्थान पर टाइटीनिया अति सूक्ष्म चूर्ण का भी उपयोग किया जाता है। इस फिल्म की संरचना बहुत ही ज्यादा छिद्रित तथा अन्तर्संबद्ध होती है। अधिक सतह क्षेत्रफल के कारण प्रसंस्करण समय बहुत जल्दी होता है। व्यवसायिक रूप से उपयोग होने वाली मृत्तिका कृति फिल्म प्रायः एल्यूमिना, जिरकोनियम डाइऑक्साइड तथा टाइटेनियम डाइऑक्साइड के मिश्रण से बनी होती है तथा इसमें आयरन ऑक्साइड को अति सूक्ष्म कण की तरह उपयोग करना भी एक अच्छा विकल्प है। मृत्तिका कृति झिल्लियों को ऊंचे ताप पर प्रबल अम्ल तथा क्षार से सफाई की जा सकती है जिससे कि दूषित मृत्तिका कृति झिल्लियों के पारगम्यता प्रवाह की पुनःप्राप्ति हो जाये¹⁰⁶।

कीमत कम करने का तथा ऊंचे यांत्रिकीय गुणवत्ता वाली झिल्ली बनाने के लिये मिश्रित सांचा झिल्ली भी एक बढ़िया तरीका है। मिश्रित झिल्ली में अकार्बनिक आण्विक छलनी जैसे कि जियोलाइट या सिलिकेट, बहुलकीय सांचे में समायोजित होने से बहाव मार्ग को तैयार करता है। इस समय अति सूक्ष्म भरण से बने हुये मिश्रित सांचे हैं तथा ये बहुलक मिश्रित झिल्ली कहलाते हैं। अति सूक्ष्म आकार के भरण, ऊंचे सतही क्षेत्रफल प्रति इकाई आयतन प्रदान करते हैं। धातु ऑक्साइड अति सूक्ष्म भरण जैसे कि मैग्नीशियम ऑक्साइड का उपयोग स्पोर कोशिका के साथ ग्राम पॉजिटिव/नेगेटिव जीवाणु को निष्क्रिय करते हैं। कुछ धातु ऑक्साइड भारी धातु को शोषित करते हैं। सिल्वर अति सूक्ष्म कण, एन्टीबैक्टीरियल उपयोग के लिये लाभदायक होते हैं। कार्बन अति सूक्ष्म कण नलिका के साथ संयोजी होने से ये एन्टीमाइक्रोबियल क्रिया को प्रदर्शित करता है। जैवधात्विक (Fe/Pd or Fe/Ni or Mg/Pd) में पहली धातु इलेक्ट्रॉन दाता की तरह तथा दूसरी धातु उत्प्रेरक की तरह, हाइड्रोजीनेशन के द्वारा क्रिया को बढ़ाने का काम करती है¹⁰⁷⁻¹¹¹।

$$LEP = (2ByL \cos \theta) / \gamma_{\max}$$

झिल्ली की आधारभूत आवश्यकता

- झिल्ली जलविरोधी तथा छिद्रित जरूर होनी चाहिये।
- समुचित छिद्र आकार तथा छिद्र आकार विभाजन होना चाहिये।
- बड़ा छिद्र आकार, बड़ा द्रव्यमान परिवहन के गीला होने की ज्यादा सम्भावना है।
- कुल ऊंची छिद्रिता
- घुमावदार कारक कम होना चाहिये।
- ऊच्च तापीय स्थिरता तथा रासायनिक प्रतिरोध
- स्थिर प्रदर्शन सुनिश्चित करने के लिये यांत्रिकीय, रासायनिक तथा तापीय प्रतिरोध के सम्बन्ध में लम्बी समयावधि स्थिरता होनी चाहिये।

स्वच्छ पेयजल निर्माण के लिये पारम्परिक जल निरुपण विधि से महत्वपूर्ण रूप से लाभ होने के कारण एक आकर्षक उपकरण बन गया है। विशेष रूप से-

- बिना किसी भौतिक या रासायनिक परिवर्तन के, झिल्ली निरुपण विधि सामान्य ताप पर होती है।
- झिल्ली पृथक्करण, झिल्ली के अन्दर बिना किसी पदार्थ के एकत्र होने से होता है तथा इसमें अतिरिक्त रसायन योज्य की आवश्यकता नहीं होती है। यह निरुपित जल की गुणवत्ता के संबंध में लाभ देता है तथा यह पर्यावरण भार को कम करता है।
- झिल्ली विधि पारम्परिक पृथक्करण तकनीक से ज्यादा ऊर्जा दक्ष होती है।
- झिल्ली पृथक्करण विधि, कम दाब, दूषित होने की कम प्रवृत्ति के लाभ हैं जो कि कम ऊर्जा आवश्यकता, कम रासायनिक सफाई आवृत्ति, लम्बी झिल्ली आयु तथा इसकी वजह से कम संचालन कीमत से सम्बन्धित है।

विशिष्ट रूप से झिल्ली प्रणाली में होता है- (1) पूर्व उपचार, (2) पंपिंग, (3) कन्सीट्रेटेशन फॉर द डिजाइन कार्टिड्रिज फिल्टरेशन, (4) मेम्ब्रेन्स तथा ऑफ मेम्ब्रेन सिसटेमिस, (5) पश्च उपचार

दानेदार माध्यम छन्नी की विशिष्ट झिल्ली जीवन, पूर्वनिरोपण के आधार पर 3 से 5 साल के लिये समुचित होता है। भूमिजल के लिये, पूर्व प्रकार की सेवा तथा झिल्ली निरुपण के प्रकार की सामान्यतः जरूरत नहीं होती है (उपयोग हुये को छोड़कर)। रसायन संकलन के लिये नगर में संभवतः झिल्ली उपयोग होता है।

दो मुख्य प्रकार के झिल्ली दाब को आकांक्षित संचालन स्तर पर बढ़ाने के लिये पंपिंग की आवश्यकता होती हैं जिससे दूषण हो सकता है (1) झिल्ली के ऊपर नियंत्रण तथा अवक्षेपण का उचित वेग। विभिन्न प्रकार के दाब के लिये दाब घुलित लवणों जैसे कि स्ट्रॉन्शियम सल्फेट, बेरियम सल्फेट तथा कैल्शियम सल्फेट की सीमा की आवश्यकता होती है। (2) कार्बनिक गंदगी-कार्बनिक गंदगी का शमन अच्छे पूर्व निरोपण अभ्यास झिल्ली के ऊपर संतोषप्रद वेग लगाकर तथा रसायन से समय-समय पर सफाई द्वारा किया जा सकता है।

• **दाब से प्रेरित झिल्लियां :** दाब से प्रेरित छनाई विधि में सामान्यतया जल के अणुओं को एक ओर से दूसरी ओर जाने के लिये जल दाब का उपयोग किया जाता है। अशुद्धियां सुरक्षित रहती हैं, तथा निवेश्य जल में सान्द्रित होती हैं, जो कि अस्वीकृत जल या सान्द्रित धारा हो जाती है। पारगम्य जल जो झिल्ली से होकर बहता है, शुद्ध जल कहलाता है। दाब से प्रेरित तकनीकियों में, पारगम्यता के घटने के क्रम में सूक्ष्म छनाई, चरम छनाई, अति सूक्ष्म छनाई का तथा विपरीत परासरण शामिल है। जल में चुनिंदा संघटकों के आकार की सीमा, दूषित जल तथा विविध झिल्लियों के प्रदर्शन सामर्थ्य।

• **दाब से प्रेरित झिल्लियों के प्रकार :** झिल्लियां मुख्यतः बहुलकीय पदार्थों से बनी होती हैं, यद्यपि मृत्तिका कृति तथा धातु ऑक्साइडों की भी झिल्लियां उपलब्ध हैं। सेल्युलोज बहुलक सस्ती होती हैं, तथा बहुत अधिक उपयोग भी होती है। यद्यपि मृत्तिका कृति तथा धातु ऑक्साइडों की झिल्लियां अन्य प्रकारों से महंगी होती हैं, ये बहुत सी व्यवसायिक विधियों के लिये उपयोग की जाती हैं क्योंकि ये बहुत उच्च ताप को सहन कर सकती हैं। जल तथा दूषित जल निरुपण की लिये दो प्रकार के झिल्ली समाकृति को व्यापक रूप से प्रयोग किया जाता है जो खोखले तंतु तथा स्पाइरल वुन्ड होते हैं।

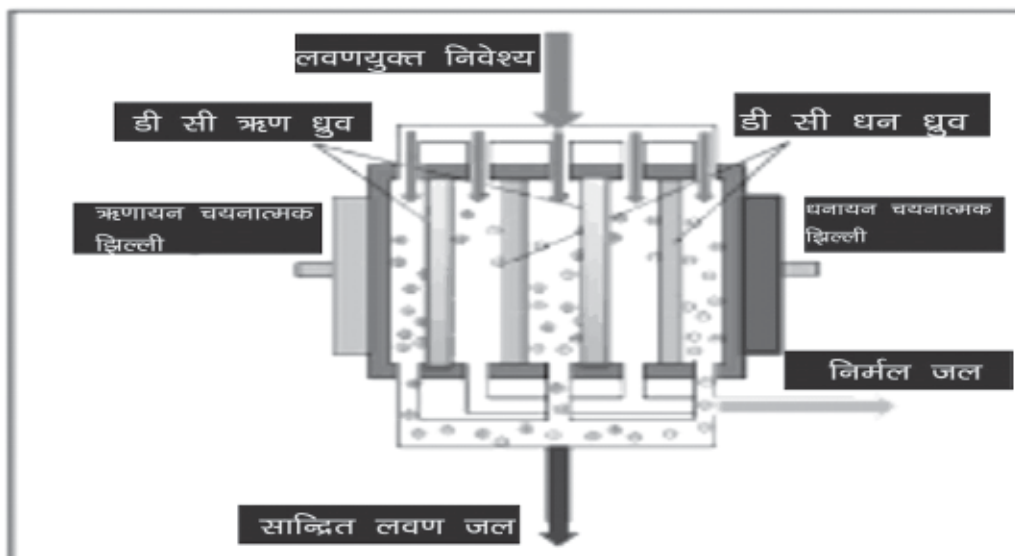
खोखले तंतु तत्व में झिल्लियों तंतुओं से छिद्रित बहुलकीय पदार्थ से बनी होती हैं जो एक साथ बंधित तथा दाब नलिका में सील होती हैं। कुछ चरम छनाई नमूने में, निवेश्य जल छिद्रित केन्द्रीय नलिका द्वारा प्रवेश करता है तथा तंतु बंडल के द्वारा अरीय रूप से बाहर की ओर बहता है। दाब के अधीन, खोखले तंतु छिद्र द्वारा जल बलपूर्वक जाता है तथा एक या ज्यादा पोर्ट्स के द्वारा निकास होता है। जो जल झिल्ली में घुसता नहीं हैं, तंतु छिद्र के द्वारा शुरु होता है तथा विरोधी अन्त पर निकलता है। विपरीत परासरण के लिये, निवेश्य जल तंतु की सतह के बाहर से प्रवेश करता है तथा उत्पादित जल छिद्र से दूर किया जाता है।

अत्यन्त कम दाब वाली झिल्ली लगभग 100 किलोवॉट प्रति घंटा पर मिलियन गैलन (3.785 मिलीयन लीटर) का जल उत्पादित करती है। नयी मिश्रित झिल्लियों का विकास होने से, संचालन दाब अत्यन्त कम हो चुका है। कम दाब संचालन का अर्थ कम ऊर्जा व्यय से है जबकि हाल ही में 10 साल पहले के रूप में 400 पाउण्ड पर अत्यन्त कम दाब विपरीत परासरण झिल्लियां, 125 किलोपास्कल (862 किलोपास्कल) जितनी कम दाब पर दक्षता से कार्य करती हैं। खारे जल के लिये मानदंड, व्यवसायिक दमनकारी के संयोजन के द्वारा आसानन किया जाता है तथा सुरक्षित संचालन मानक के अन्दर तंत्र का संचालन किया जाता है।

• **विद्युत उपोहन :** विद्युत से प्रेरित झिल्ली विधि में विद्युत धारा का उपयोग आयनों को झिल्ली के द्वारा ले जाने में किया जाता है, शुद्ध जल को पीछे छोड़ता है। इस विधि में, आयनों को सान्द्रित धारा में निस्तारण के लिये एकत्रित किया जाता है। उत्पादित जल, शुद्ध निवेश्य जल होता है। विद्युत उपोहन व्युत्क्रमण, प्रारम्भिक विद्युत उपोहन विधि का सुधार है। विद्युत उपोहन दिष्ट धारा स्रोत का उपयोग करता है तथा प्रत्यावर्ती ऋणायन तथा धनायन चयनशील झिल्लियों के द्वारा कई बहाव मार्ग पृथक्कृत होते हैं जो जल तथा घुलित लवणों का पृथक्करण प्राप्त करते हैं। विपरीत परासरण या आसवन के विपरीत विद्युत उपोहन में केवल आयनिक घटकों को विलयन से हटाने की शक्ति होती है। आयन विनिमय झिल्लियां, इस विधि का केन्द्र होती हैं। धनायन चयनशील तथा ऋणायन चयनशील झिल्लियां, झिल्लियों के ढेर में प्रत्यावर्ती स्थान प्राप्त करती है। जल, झिल्लियों के बीच बहता है तथा जब दिष्ट धारा को ढेर के ऊपर लगाया जाता है, धनायन कैथोड की ओर जाता है तथा ऋणायन एनोड की ओर जाता है। प्रत्यावर्ती झिल्लियों के कारण, लवण हर एक खाने से हट जाता है तथा मध्यवर्त खाने में एकत्रित होता है। इस विधि में, खारे जल को एक अलग मार्ग में समान रूप से डाला जाता है। धनायन तथा ऋणायन, लगाये गये वोल्टेज की प्रतिक्रिया में विपरीत दिशाओं में तब घूमते हैं। झिल्लियों की आवेश चयनात्मकता के कारण, उपकरण के प्रत्यावर्ती मार्ग में आयन की सान्द्रता घटती व बढ़ती है। यह विधि बहुत किफायती तथा नियंत्रण में आसान हो जाती है। विपरीत परासरण की तरह, विलयन से आयनों को अलग करने के लिये आवश्यक ऊर्जा सान्द्रता के साथ बढ़ती है। इस प्रकार विद्युत उपोहन सामान्यतया खारे जल के लिये सीमित होती है जिसमें केवल कुछ हजार पीपीएम घुलित ठोस होते हैं। विद्युत उपोहन इकाई की झिल्लियां, गंदगी के अधीन होती हैं तथा

इसलिये निवेश्य जल की कुछ पूर्व निरोपण की सामान्यतौर पर आवश्यकता होती है। विद्युत उपोहन विधि में पीएच में बदलाव द्वारा अवक्षेपण के पैमाने को सुगम बनाया जा सकता है जो कि झिल्ली के समीप, H^+ तथा OH^- आयनों के परिवहन के परिणामस्वरूप होता है। फिर भी, चूंकि झिल्लियों के ऊपर जल का प्रवाह नहीं होता है, विद्युत उपोहन विपरीत परासरण से ज्यादा स्तर के निलम्बित ठोसों को जल से निकाल देता है। इस विधि द्वारा अनआयनिक ठोसों, उदाहरण के लिये सीलिका भी सान्द्रित नहीं हो पाती है, ये घटक कम ध्यान देने वाले हैं। विद्युत उपोहन व्युत्क्रमण विधि को झिल्ली की गंदगी को निकालने में मदद के लिये विकसित किया गया था। विद्युत उपोहन व्युत्क्रमण विधि में, झिल्ली की ध्रुवणता को, सीलिंग तथा झिल्ली की सतह के दूषित होने से रोकने के लिये एक घंटे में कई बार पूर्णतया बदला जाता है। यह नवीनीकरण, झिल्ली को संचालन आयु तथा दक्षता दोनों को बेहतर बनाता है। इसके पास खारे मार्ग को ताजे जल मार्ग तथा ताजे जल मार्ग को खारे मार्ग में अदला-बदली करने का प्रभाव होता है, तथा ये निक्षेप को छोटे-छोटे भागों में विभाजित करता है तथा बाहर निकालता है (चित्र 8)।

• **झिल्ली जैव प्रतिघातक :** 1960 के अन्त में, झिल्ली जैव प्रतिघातक तकनीक की शुरुवात हुयी थी। झिल्ली जैव प्रतिघातक के लिये, महत्वपूर्ण खोज 1989 में यामामोटो तथा उसके सहयोगियों को जैवप्रतिघातक में झिल्लियों के जलमग्न करने के विचार से आया था। झिल्ली जैवप्रतिघातक निलम्बित वृद्धि जैविक प्रतिघातक के साथ छनाई के द्वारा ठोस को हटाने की संयोजन का लाभ होता है। झिल्ली को छोटे स्थान पर संचालन के लिये निर्मित किया जा सकता है तथा इसमें संदूषकों जैसे कि नाइट्रोजन, फॉस्फोरस, जीवाणु, जैवरासायनिक ऑक्सीजन की मांग तथा कुल निलम्बित ठोसों को बहुत हटाने की दक्षता होती है। झिल्ली छनाई तंत्र प्रभाव में, विशिष्ट रूप से सक्रिय अवमल निरुपण तंत्र में द्वितीयक शुद्धिकर तथा रेत छनाई का स्थान ले सकती है। झिल्ली छनाई, बहुत ज्यादा जैवभार को बनाये रखने की अनुमति देता है, उसके कारण छोटा सा जैवप्रतिघातकों का उपयोग करने की अनुमति देता है। व्यवसायिक तंत्र, ठोस के बैठने के दौरान अवष्टब्ध का सामना होने के कारण 5 ग्राम/लीटर या इससे कम सान्द्रता के ठोस के लिये सीमित होता है। झिल्ली जैवप्रतिघातक तंत्र 5-25 ग्राम/लीटर के बीच के सान्द्रता वाले ठोसों के संचालन के लिये सक्षम होती है। पदचिन्ह को कम करने की सीमा के अन्दर बहुत लम्बे ठोसों के अपरोधन समय की अनुमति देता है¹¹³। इसके अलावा



चित्र 8 — विद्युत अपोहन विधि

झिल्ली जैवप्रतिघातक तंत्र, जलदाब तथा ठोस अवरोधन समय के सम्पूर्ण पृथक्करण की अनुमति देता है। ये सबसे ज्यादा विधि नियंत्रण तथा सामंजस्य को समर्थ बनाता है। झिल्ली जैवप्रतिघातक क्षेत्र तथा स्थान की आवश्यकता को काफी हद तक कम करता है तथा सर्वोत्तम गुणवत्ता के पारगम्यता का सुधार करता है जो कि बहुत ज्यादा आवश्यक पुनर्प्रयोग अनुप्रयोग के लिये मूल्यवान स्रोत होता है (चित्र 9)।

व्यवसायिक सक्रिय अवमल तंत्र की तुलना में झिल्ली जैव प्रतिघातक तकनीकी के मुख्य लाभ

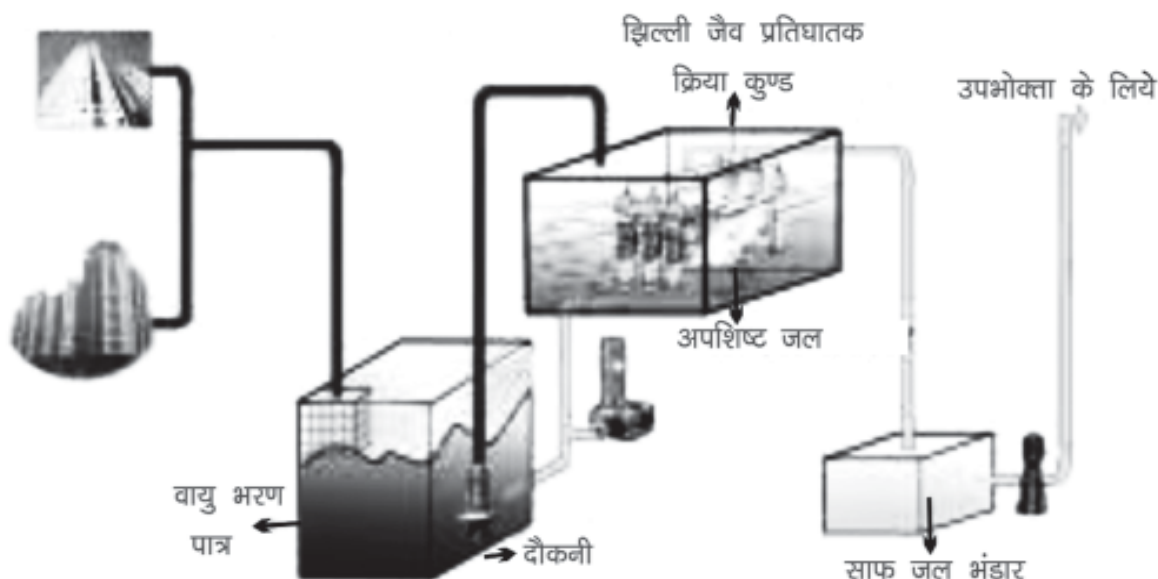
- छोटा सा पदचिन्ह तथा छोटा सा प्रतिघातक आयतन परिणाम होता है। इसके ज्यादा MLSS सान्द्रता तथा मल दर के (कम तथा औसत अवमल आयु के लिये वैकल्पिक)
- अवमल उत्पादन का कम होना (उच्च अवमल आयु के लिये वैकल्पिक)
- झिल्ली छनाई के परिणामस्वरूप सबसे ऊंचा तथा सबसे ज्यादा बहिःप्रभावी धारा गुणवत्ता
- संदूषकों की चोटी के लिये कम संवेदनशीलता

झिल्ली जैवप्रतिघातक की हानियां

- यंत्र स्थापित करने तथा संचालन की अपेक्षाकृत मंहगी है
- नित्य झिल्ली अनुश्रवण तथा अनुरक्षण

- झिल्ली की सहनशीलता को बनाये रखने के लिये दाब, ताप तथा पीएच की आवश्यकता का सीमा आरोपण
- झिल्लियां कुछ रसायनों के लिये संवेदक हो सकती हैं, उच्च सान्द्रता के कारण ऑक्सीजन स्थानान्तरण के लिये कम दक्षता
- अतिरिक्त अवमल को ठीक करने की दक्षता संदिग्ध है।

झिल्ली जैवप्रतिघातक की परिकल्पना के लिये, गंदे जल की विशिष्टता (उदाहरण के लिये अंतः प्रभावी धारा का स्वभाव, बहिः प्रभावी धारा की आवश्यकताएं, बहाव आंकड़े) के बारे में केवल मूलभूत सूचना की आवश्यकता होती है। प्रारम्भ में झिल्ली जैवप्रतिघातक तंत्र का इस्तेमाल लघु निरुपण अनुप्रयोग के लिये उपयोग किया जा चुका है। फिर भी झिल्ली जैवप्रतिघातक तंत्र अब प्रायः पूर्व निरोपण अनुप्रयोग में उपयोग होता हैं। यह "N धन 1" विचार मिश्रित है (पारंपरिक सक्रिय अवमल तथा झिल्ली विधि प्रारूप के बीच का)। उदाहरण के लिये, जैवप्रतिघातक आकार प्रायः ऑक्सीजन स्थानान्तरण के द्वारा सीमित होता है, इसके अलावा आवश्यक SRT एक कारक होता है जो महत्वपूर्ण रूप से जैवप्रतिघातक की संख्या तथा आकार को प्रभावित करता है, को पाने के लिये आयतन की आवश्यकता होती है। यद्यपि झिल्ली जैवप्रतिघातक तंत्र बहाव की दर के सन्दर्भ में संचालन सुनम्यता प्रदान करता है। इसके साथ-साथ इकाइयों के जल्दी जुड़ने या हटने की, जैसा कि शर्त निर्धारित होती हैं, सक्षम होती हैं। यह सुनम्यता सीमित होती है। झिल्लियों के लिये विशिष्ट रूप



चित्र 9 — झिल्ली जैव प्रतिघातक विधि

से आवश्यकता है कि जल सतह से न्यूनतम ऊंचाई के ऊपर बनी रहें जिससे कि झिल्लियां संचालन के समय गीली बनी रहें। झिल्लियों को ठोस पृथक्करण के बृहत क्षेत्र के लिये चयन किया जा सकता है जो कि सभी प्रकार के जीवाणु तथा विषाणु को हटा सकें। अतः रोगाणुओं को सम्पूर्ण रहने दिया जा सकता है तथा विसंक्रामक आवश्यकता को नीचे की ओर कम किया जाता है। झिल्ली का जीवन मुख्यतः संचालन की शर्तें, झिल्ली के पदार्थ, उनकी समाकृति अनुरक्षण के आधार पर व्यापक रूप से बदली जा सकती है। लेखकों ने यह भी बताया कि पारगम्यता हानि पर अकार्बनिक पैमाने का महत्वपूर्ण प्रभाव होता है। झिल्ली कार्ट्रिज जीवन के दौरान सही कार्य का आकलन, इसकी परिधि की झलाई की मजबूती द्वारा किया जाता है, जो कि पारगम्य जल के सम्पूर्ण आयतन तथा रासायनिक सफाई के दौरान उपयोग होने वाले ऑक्सीकारक के कुल द्रव्यमान से संबंधित होता है।

• **छनाई के लिये कार्बन अति सूक्ष्म नलिका झिल्लियां :** हाल के वर्षों में, अति सूक्ष्म आकारित पदार्थों जैसे कि कार्बन अति सूक्ष्म नलिका, धातु/धातु ऑक्साइड अति सूक्ष्म कण, जियोलाइट्स, डेनड्राइमर्स का विकास, जल शुद्धिकरण के क्षेत्र में प्रभावशाली महत्वपूर्ण खोज के प्रमाण हैं। फिर भी, कार्बन अति सूक्ष्म नलिका द्वारा प्रत्यायक उत्पन्न होना, झिल्लिविदों के लिये उल्लेखनीय तथा आश्चर्यजनक रूप से आगामी पीढ़ी के लिये महत्वपूर्ण झिल्ली साबित हुआ है जिसमें उच्च प्रवाह, उच्च चयनशीलता,

कम गंदगी (जलस्नेही, जलविरोधी तथा जैव गंदगी) होती हैं। ये झिल्लियां इसलिये अतिसूक्ष्म पैमानित कार्बन अति सूक्ष्म नलिका छिद्रों जिसमें बारीकी से मूर्त परिणि विभाजन से युक्त होती हैं। पृथक्करण अनुप्रयोगों (उच्च प्रवाह तथा उच्च चयनशीलता के अलावा) के लिये नियंत्रक सांचे में कार्बन अति सूक्ष्म नलिका का गतिहीन करने का सबसे महत्वपूर्ण लाभ, व्यस्क कार्बन अति सूक्ष्म नलिका की विषाकता से संबंधित संभाव्य आरोग्य खतरे को कम करने में होती है, जब वे जल शुद्धिकरण अनुप्रयोगों में शोषक की तरह उपयोग किये जाते हैं। जिस स्थान पर उत्पादित जल का कार्बन अतिसूक्ष्मनलिका के साथ संदूषण होने का अच्छा मौका होता है। झिल्ली के निर्माण के लिये, विशिष्ट रूप से शुरुआत केमिकल वेपर डिपोजिशन द्वारा सिलिका या क्वार्ट्ज आधार पर एक सीध में कार्बन अति सूक्ष्म नलिका के बढ़ने से होती है (चित्र संख्या 12)। वृद्धि पैमानों का सावधानी पूर्वक चुनाव आवश्यक होता है जिससे कि कार्बन अति सूक्ष्म नलिका संरचनात्मक अवरोधों जैसे कि उत्प्रेरक कणों या बांस जैसी संरचना जो कि कार्बन अति सूक्ष्म नलिका के अन्दर के बहाव को रोकती है, से मुक्त होती हैं^{74,109,117-124}। एक बार जब कार्बन अति सूक्ष्म नलिका वन की वृद्धि होती है, कार्बन अति सूक्ष्म नलिका के बीच के स्थान पर अपारगम्य पदार्थ छन-छन कर अंदर जाकर एक सतत् सांचा बनाते हैं। अन्त में अतिरिक्त ढांचा पदार्थ तथा आधार हटा दिया जाता है, जो कि कार्बन अति सूक्ष्म नलिका के अंत को खोलता है।

कार्बन अति सूक्ष्म नलिका आधारित झिल्लियों के निर्माण के लिये सन्निकर्ष का प्रयोग

• पूर्ववर्ती सुव्यवस्थित छिद्रित झिल्लियां जैसे कि एनोडाइज्ड एल्यूमिना के अन्दर कार्बोनेशियस पदार्थों का निक्षेपण, इसे सांचा निर्माणित कार्बन अति सूक्ष्म नलिका झिल्लियां भी कहते हैं।

• कार्बन अति सूक्ष्म नलिका के ऊर्ध्वाधर क्रम में अति सूक्ष्म नलिकाओं के बीच दूरी पर आधारित झिल्लियां जो कि सघन-क्रम बाह्य दीवार कार्बन अति सूक्ष्म नलिका झिल्ली की तरफ इशारा करती है।

• स्थान-भरण अक्रिय बहुलक या मृत्तिका कृति ढांचा द्वारा बड़ी हुयी ऊर्ध्वाधर की सीध में कार्बन अति सूक्ष्म नलिका का सम्पुटीकरण, इसके बाद प्लाज्मा रसायन के उपयोग से कार्बन अति सूक्ष्म नलिका के अग्रभाग का खोलना या कार्बन अति सूक्ष्म नलिका झिल्लियों का खुला होना।

• बहुलक ढांचे में भरण की तरह अति सूक्ष्म नलिका से युक्त झिल्लियां, यह मिश्रित ढांचा झिल्लियां भी कहलाती हैं।

जल शुद्धिकरण या गंदे जल के निरुपण के लिये, चरम छनाई प्रकार की झिल्लियां व्यापक रूप से विश्वभर में उपयोग होती हैं जहां पर छिद्र का आकार 5 नैनोमीटर से 100 नैनोमीटर तक बदलता है तथा आकार अपवर्जन की क्रियाविधि द्वारा पृथक्करण प्रभावित होता है। 6 से 11 Å व्यास की सीमा क्षेत्र में कार्बन अति सूक्ष्म नलिका से बनी झिल्लियों द्वारा जल तथा आयनों का स्थानान्तरण होता है। आण्विक गतिशील तथा कार्बन अति सूक्ष्म नलिका निगमित झिल्लियां को विपरीत परासरण के उपयोग से जल के अलवणीकरण के लिये एक आशाजनक प्रार्थक पाया गया। व्यस्क एक सीध में रखे बहुभित्ति कार्बन अति सूक्ष्म नलिका के स्वयं आधारित रचना उपयुक्त रूप से एक चरम छनाई माध्यम की तरह हो सकता है। दूसरी ओर कार्बन अति सूक्ष्म नलिका को क्रियाशील करने के लिये असंख्य मौके होते हैं। यह मुख्यतः वर्गीकृत होता है-(1) कार्बन अति सूक्ष्म नलिका की क्रियाशील संयोजन रूपरेखा के ऊपर रसायन समूहों के सहसंयोजी आसक्ति के द्वारा अभिक्रिया, (2) कई प्रकार के क्रियाशील अणुओं के आवरण या असहसंयोजी अधिशोषण, (3) उनके आन्तरिक रिक्त गुहिका के एन्डोहेड्रल भरण। कार्बन अति सूक्ष्म नलिका का अग्रभाग उपयुक्त रूप से क्रियाशील किया जा सकता है जिसके परिणामस्वरूप झिल्लियां ऋणावेशित तथा धनावेशित होती हैं जो जल के अलवणीकरण को सक्षम बनाती हैं। एकल भित्ति कार्बन अति सूक्ष्म नलिका क्रमशः धनावेशित (क्वाटर्नरी अमोनिया समूह) तथा ऋणावेशित (सल्फोनिक अम्ल समूह) मोइटीज

से क्रियाशील होती हैं जो कि आवेशित झिल्लियों के विकास के लिये मूलभूत अंग की तरह कार्य करती हैं जो आकार/आवेश आधारित अति सूक्ष्म छनाई के अलवणीकरण अनुप्रयोगों के लिये सक्षम बनाती हैं। अलवणीकरण/जल शुद्धिकरण के लिये किसी भी झिल्ली के कार्य क्षेत्र की शर्तों पर उपयोग करने से एक महत्वपूर्ण, फिर भी अपरिहार्य समस्या (जो कि झिल्ली की गंदगी है) से सामना करना पड़ता है। जहां पर गंदगी की सीमा निवेश्य जल की शर्तों, झिल्ली के पदार्थ, झिल्ली का प्रकार, झिल्ली इकाई समाकृति तथा निसंदेह विधि संचालन शर्तों पर आधारित होती हैं। जबकि बहुलक सांचे में व्यस्क कार्बन अति सूक्ष्म नलिका के संसेचन, झिल्ली की गंदगी प्रकृति को कम करने में मदद करता है। कार्बन अति सूक्ष्म नलिका का अग्रभाग तथा बगल की दीवारें, झिल्ली की गंदगी की समस्या को अधिक कम करने के लिये आवश्यक रसायन समूहों को क्रियाशील कर सकती हैं। झिल्लियों की जैव गंदगी की गंभीर समस्या को भी कार्बन अति सूक्ष्म नलिका के संसेचन के द्वारा कम किया जा सकता है जो कि झिल्लियों की अन्तर्निहित प्रदर्शन (योग्य पूरे में तथा चयनशीलता) को ज्यादा समय के लिये पुनः स्थापित करने के लिये बनाती हैं तथा इसके परिणामस्वरूप झिल्ली आधारित पृथक्करण को और ज्यादा किफायती बनाती हैं।

झिल्ली छनाई तंत्र का संकलन तथा नमूना

झिल्ली छनाई के लिये उचित झिल्ली के पदार्थों का चुनाव एक महत्वपूर्ण कसौटी है। एक बहुत अच्छी झिल्ली में उच्च पारगम्यता प्रवाह, उच्च संदूषक अस्वीकृति, ज्यादा टिकाऊपन, अच्छा रसायन, प्रतिरोध तथा कम कीमत होनी चाहिये। पारगम्यता प्रवाह का अर्थ है झिल्ली की प्रति इकाई क्षेत्र के माध्यम से पारगम्यता के बहाव की दर पारगम्यता प्रवाह कहलाती है। अकार्बनिक झिल्लियों, हालांकि इनमें बहुत अधिक रसायन तथा ताप प्रतिरोध होता है, लेकिन इनकी भंगुरता तथा कीमती होने के कारण इन दिनों कम उपयोग में हैं। कार्बनिक बहुलकों का बहुत अधिक व्यापक रूप से उपयोग बना हुआ है। बहुलक विशिष्ट रूप से सक्रिय परत के लिये उपयोगों में सेल्युलोज एसीटेट, पॉलीएमाइड्स, पॉलीप्रोपीलीन तथा पॉलीसल्फोन शामिल हैं। दूसरे महत्वपूर्ण गुणों में छिद्र आकार तथा अणुभार सीमा हैं जो कि स्पष्ट रूप से बताता है, विलेय के उच्चतम अणुभार जो कि अस्वीकृत हैं। अति सूक्ष्म छनाई 0.5 तक के व्यास के लिये पारगम्य है, तथा यह झिल्ली के ऊपर छोटे दाबान्तर के अधीन अपेक्षाकृत उच्च प्रवाह के लिये उपयुक्त होती है। इस प्रकार यह सूक्ष्म कणों तथा जल से सूक्ष्मजीवों के पृथक्करण के लिये प्रायः उपयोग

होती है। उसी तरह से विपरीत परासरण में सबसे छोटा छिद्र आकार होता है तथा यह सभी आयनों को लगभग पुनः प्राप्त कर सकती है, जब बहुत उच्च दाबान्तर तथा अपेक्षाकृत कम पारगम्यता प्रवाह के अधीन संचालन होता है। यह सामान्यतः खारे जल या समुद्र के जल के अलवणीकरण के लिये उपयोग किया जाता है। झिल्ली विधियाँ, जल तथा गंदे जल के निरुपण में विभिन्न संदूषकों को हटाने के लिये उपयुक्त होती हैं क्योंकि इसको विभिन्न छिद्र आकार मिलता है। झिल्ली विधियों का प्रदर्शन उपयुक्त इकाई समाकृति पर भी आधारित होता है। अति सूक्ष्म छनाई तथा विपरीत परासरण, विक्षोभ को बढ़ावा देने के लिये विशिष्ट रूप से स्पाइरल वुन्ड समाकृति की होती है, उसके कारण सान्द्रता ध्रुवण गंदगी तथा कणों के केक निक्षेपण को कम करती है। फिर भी इस प्रकार की झिल्ली समाकृति, जैवगंदगी के उत्पन्न होने के लिये संवेदनशील होती है। सील तथा ग्लू रेखाओं की दुर्बलता को भी प्रबल प्रक्षिप्त जल के उपयोग से रोकथाम की जाती है। इसके विपरीत अति सूक्ष्म छनाई तथा चरम छनाई सामान्यतया खोखले तंतु ज्यामिति का उपयोग करती है, जिससे कि प्रक्षिप्त जल सरलता से हो तथा उच्च सतह क्षेत्रफल प्रति आयतन का अनुपात देता है। उच्च तिर्यक बहाव वेग को बनाये रखने के लिये उच्च ऊर्जा की आवश्यकता इसकी मुख्य कमी है। हाल में ही बहुत से नये नमूने संकल्पनाओं को पेश किया जा चुका है जिसमें इकाई समाकृति में परिवर्तन करके झिल्ली गंदगी तथा संचालन कीमत को कम किया जा सके। मल्लूभोटला व बेलफोर्ट (1997) तथा विन्जेरल व बेलफोर्ट (1993) ने झिल्ली इकाई में द्रव गतिशीलता का अध्ययन किया तथा एक विशिष्ट वक्र भित्ति समाकृति को प्रस्तुत किया जो कि झिल्ली गंदगी को कम करने के माध्यम से झिल्ली के सतह पर टेलर या डीन वॉर्टेक्सेस को बढ़ावा देता है^{74,125}। रीड एवं उनके सहयोगियों (1997) ने एक चक्रीय चकती झिल्ली छन्नी को विकसित किया जिसमें दाबानुकूलित पात्र के अन्दर झिल्ली की सतह पर उच्च काट को पैदा करने के लिये खोखला झिल्ली आच्छादित चकती का ढेर, खोखले चक्रीय डंडे के साथ-साथ होता है⁷⁵। जलमग्न खोखला तंतुओं का गट्टा, दूसरा प्रसिद्ध विकास है जिसमें प्रक्रम टंकी में सीधे चिपकाया जा सकता है। कम निर्वात के अधीन में खोखले तंतु के अन्दर पारगम्य क्लान्त होता है, इस प्रकार पर्याप्त तिर्यक-बहाव वेग को बनाये रखने के लिये बहाव के पुनः परिचालन के लिये आवश्यक ऊर्जा को हटा देती है। झिल्ली इकाई के निचले स्थान पर विक्षोभ उत्पन्न करने के लिये हवा को भी प्रस्तुत किया जा सकता है जो झिल्ली तंतुओं के बाह्य भाग को घिसता

तथा साफ करता है। उसके कारण कणों के निक्षेपण तथा सूक्ष्मजीवों के आसक्ति के कारण होने वाले झिल्ली गंदगी को कम करता है। ऐसा प्रतीत होता है कि ये जलमग्न झिल्ली समाकृतियाँ, उच्च मटमैलापन तथा ठोस माल के लिये बहुत अच्छी सहनशक्ति प्रस्तुत कर सकती हैं। झिल्ली छनाई के अन्तर्निहित झिल्ली तथा संदूषकों के बीच जटिल परिवहन तथ्य तथा पारस्परिक क्रिया के कारण, झिल्ली छनाई की योजनाबद्ध कार्य प्रणाली व्यापक रूप से प्रयोग सिद्ध रहती हैं। परिणामस्वरूप, स्थान-विशिष्ट बेन्च तथा संचालन परीक्षण, निरुपण की सम्भावना का आकलन करने तथा संयंत्र को बढ़ाने के लिये प्रक्रम मानकों को तैयार करना प्रायः आवश्यक होता है। इन परीक्षणों के संचालन में सामान्य विचारों तथा प्रायोगिक नयाचारों को मालेवियेले एवं उनके सहयोगियों (1996) के द्वारा सार प्रस्तुत किया जा चुका है¹²⁴।

अन्य शुद्धीकरण तकनीकी (उन्नत ऑक्सीकरण तकनीकियाँ)

उन्नत ऑक्सीकरण विधियों को व्यापक रूप से परिभाषित किया जा चुका है, यह उच्च सक्रिय रेडिकल्स विशिष्ट रूप से हाइड्रॉक्साइड मूलक मुख्य ऑक्सीकरक के रूप में, पर आधारित व्यापक ताप के निकट निरूपित विधियाँ हैं¹²⁶। स्पष्ट रूप में, हाइड्रॉक्साइड मूलक सब में प्रबल ऑक्सीकरक प्रकार हैं जो जल तथा गंदे जल निरुपण में उपयोग होता है तथा संदूषित पदार्थ के ऑक्सीकरण की दर को बहुत ही बढ़ाने का सामर्थ्य प्रस्तुत करता है। ओजोन, हाइड्रोजन परॉक्साइड, टाइटेनियम डाइऑक्साइड, विषमांगी प्रकाश अपघटन, पराबैंगनी विकिरण, पराध्वनिक चित्रण तथा (या) ऊंची बीम विकिरण से संयोजन के द्वारा हाइड्रॉक्साइड मूलक का उत्पादन सामान्यतः बढ़ जाता है। इन सब में ओजोन, हाइड्रोजन परॉक्साइड, ओजोन-पराबैंगनी, हाइड्रोजन परॉक्साइड-पराबैंगनी तथा विषमांगी प्रकाश अपघटन विधियाँ, जल तथा गंदेजल को विषहीन करने के लिये बहुत ही ज्यादा संभावना प्रकट करता है। ऊंचे पीएच पर ओजोन, हाइड्रॉक्साइड मूलक में अपघटित हो जाता है। इस प्रकार, ओजोनीकरण अपने आप में ही एक उन्नत ऑक्सीकरण विधि के रूप में सुविवेचित किया जा सकता है। इसके साथ ही साथ बहुत से उन्नत ऑक्सीकरण विधियों के बारे में ज्ञान, जल में ओजोन अपघटन की दीक्षा पर आधारित है। इसकी महत्ता का ध्यान रखते हुये अन्य उन्नत ऑक्सीकरण विधियों तथा व्यापक उपयोगों को समझने में ओजोनीकरण का भी निरीक्षण किया जायेगा। सूची-6 जल तथा गंदे जल निरुपण में इन विधियों का प्रतिनिधिक उपयोगों की तालिका है। यह सामान्यतः शुष्क हवा से यथास्थान पर या उच्च वोल्टीय कोरोना प्रवाह के द्वारा शुद्ध

ऑक्सीजन से पैदा होता है। ओजोनीकरण अभिक्रिया क्रियाविधि में, ओजोन में कम घुलनशीलता होती है तथा यह बहुत जटिल स्वयं अपघटित तथा ऑक्सीकरण अभिक्रिया देता है। साधारणतः जल में ओजोन अपघटन एक मूलक श्रृंखला विधि होती है जिसमें अपघटन माध्यमिक, आण्विक ओजोन के अवक्षय को अधिक उत्प्रेरित कर देगा। इसके साथ ही साथ ओजोन के अणु, कार्बनिक यौगिकों जिसमें उच्च इलेक्ट्रॉनिक घनत्व होता है, के साथ तुरन्त अभिक्रिया कर सकता है। इस तरह की तुरन्त अभिक्रियायें सामान्यतः बहुत ही चयनशील होती हैं। इसके विपरीत, हाइड्रॉक्साइड मूलक अभिक्रियायें अचयनशील होती हैं तथा यह लगभग सभी कार्बनिक यौगिकों के साथ, या तो हाइड्रोजन अणु संक्षेपण द्वारा या सीधे इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण या निवेशन के द्वारा लगभग अभिक्रिया करेगा। ओजोन विघटन जल में ओजोन को निपुणता से घुलित करना एक संकटपूर्ण है क्योंकि इसकी घुलनशीलता कम होती है, तरल फिल्म की बजाय गैस फिल्म के अन्दर ओजोन का विसरण बहुत ही तेजी से सुविवेचित होता है। इसके अतिरिक्त जटिलता यह है कि ओजोन के द्रव्यमान का स्थानान्तरण, रासायनिक अभिक्रियाओं की उपस्थिति में बढ़ाया जा सकता है। ये अभिक्रियायें न केवल घुलित ओजोन की सान्द्रता को कम करने के द्वारा द्रव्यमान स्थानान्तरण प्रेरक बल को बढ़ायेगा बल्कि यह स्पष्ट एक मान होता है, यदि अभिक्रिया की दर पर्याप्त मेजी से हों जिससे कि तरल फिल्म के अन्दर सम्पूर्ण घुलित ओजोन कम हो जाये, को भी बढ़ायेगा। वर्तमान में विभिन्न प्रकार की ओजोन संपर्क तंत्रों को अभ्यास में उपयोग होता है²⁶। परंपरागत बारीक बुलबुला सम्पर्क को सबसे ज्यादा व्यापक रूप से उपयोग किया जाता है। वर्तमान में, पूरे विश्व में 4000 तक ओजोनीकरण संयंत्र का संचालन होता है तथा भविष्य में इसके अधिक अधिष्ठापित करना है। इन उपयोगों के उद्देश्य पर आधारित, ओजोन के उपयोगों को दो श्रेणी में सामान्यीकरण किया जा सकता है जिनके नाम हैं, प्रभावशाली विसंक्रामक तथा एक प्रबल ऑक्सीकारक। पीएच को बढ़ाकर या उन्नत ऑक्सीकरण विधि तकनीकियों के इस्तेमाल के द्वारा ओजोन अपघटन से मुक्त मूलक के उत्पादन में बढ़ोत्तरी, विसंक्रामक के उद्देश्य के लिये सीमित लाभ देगा। रासायनिक संदूषकों को ऑक्सीकृत करने के लिये, उच्च अभिक्रियाशील मूलकों में अपघटन के बाद ओजोन बहुत ही प्रभावशाली हो जायेगा। ऑक्सीकारक के रूप में, इस विधि को पेयजल निरुपण में (1) आयनन या मैग्नीज को ऑक्सीकृत करने के लिये, (2) रंग व गंध को दूर करने, (3) अल्प विषाक्त संश्लेषित कार्बनिक यौगिकों को निकालने में, (4) जलीय नम पदार्थों के साथ अभिक्रिया द्वारा

जमावन में सहायता देने के द्वारा उपयोग किया जा चुका है¹²⁷। उच्च ऑक्सीजन मांग के कारण नगरीय तथा व्यवसायिक गंदे जल निरुपण के लिये बहुत ही कम उपयोगों का वर्णन किया गया है¹²⁸। उदाहरण के लिये झाऊ तथा स्मिथ (1997) ने बताया है कि ओजोन की मात्रा 40 मिलीग्राम प्रति लीटर तक होने पर, जैविक पूर्वनिरोपित गूदा मिल बहिःप्रवाह धारा के ओजोनीकरण के परिणामस्वरूप 80 तक रंग में तथा 60 ऐ ओ एक्स होता है¹²⁹। ओजोन के अनुप्रयोगों से जुड़ी एक मुख्य अभिरुचि यह है कि जल में ब्रोमाइड कार्बनिक उपोत्पाद में ऑक्सीकृत हो सकता है¹³⁰⁻¹³⁵। ब्रोमेट आयन को, कैंसर पर शोध के लिये अन्तर्राष्ट्रीय संस्था के द्वारा कैंसरकारी के रूप में वर्गीकृत किया जा चुका है। इस वजह से, यह प्रस्ताव रखा गया कि स्वाभाविक रूप से सड़ने वाले पदार्थों की मात्रा को कम करने के लिये ओजोनीकरण को छनाई या दानेदार सक्रिय कार्बन के साथ मिश्रित करना चाहिये^{127,136}।

• **ओजोन-हाइड्रोजन परॉक्साइड (पेरोजोन) :** ओजोन-हाइड्रोजन परॉक्साइड विधि को प्रायः पेरोजोन विधि भी कहते हैं। इसकी सरलीकरण तथा कम मूलक उत्पादन कीमत के कारण, ओजोनीकरण को छोड़कर उन्नत ऑक्सीकरण विधियों के मध्य इसका उपयोग सबसे ज्यादा व्यापक रूप से अभ्यास में होता है। यद्यपि हाइड्रोजन परॉक्साइड, जल में ओजोन अणुओं के साथ बहुत धीरे अभिक्रिया करता है, इसका कॉन्जुगेट बेस ओजोन के साथ जल्दी से अभिक्रिया करता है। इसके कारण हाइड्रॉक्सिल मूलकों की रचना को प्रारंभ करता है। बहुत ही कम सान्द्रता में, हाइड्रोजन परॉक्साइड आयन ओजोन अपघटन की शुरुआत करने में तथा हाइड्रॉक्सिल मूलकों की रचना को सुचारु करने में बहुत ही प्रभावी होगा। ओजोन द्वारा व्यय किये गये हाइड्रोजन परॉक्साइड आयन का बाद में पुनरुत्पादन होता है। जितनी ज्यादा पीएच होगी उतनी ही ज्यादा हाइड्रोजन परॉक्साइड, हाइड्रोपेरोक्सिल आयन में विघटित होगा। इसके परिणामस्वरूप, ओजोन के विघटन की दर पीएच के बढ़ने के साथ बढ़ जायेगी। हाइड्रॉक्सिल मूलकों के बनने के पश्चात, मूलक श्रृंखला अभिक्रिया तथा संदूषकों का ऑक्सीकरण का प्रचारक वही क्रियाविधि का पालन करता है जो कि उच्च पीएच अवस्था में ओजोनीकरण में होता है। जल निरुपण में, ओजोन-हाइड्रोजन परॉक्साइड विधि का मुख्यतः प्रयोग सूक्ष्मप्रदूषकों को ऑक्सीकृत करने, कीटनाशकों को हटाने तथा स्वाद एवं गंधकारक पदार्थों के नियंत्रण में किया जाता है¹³⁷⁻¹³⁹। आदर्श हाइड्रोजन परॉक्साइड से ओजोन का अनुपात सामान्यतया 0.3 से 0.6 के क्षेत्र में होता है। इसे संदूषित भूमिगत जल तथा

गंदेजल निरुपण के लिये भी जांचा-परखा गया है। मर्फी एवं उनके सहयोगियों (1993) ने गुदा तथा कागज मिल के तीन बहिःप्रवाह धारा से रंग को हटाने का अध्ययन किया¹⁴⁰। उन्होंने बताया कि ओजोन-हाइड्रोजन परॉक्साइड विधि क्षारक सार जलधारा से 85 प्रतिशत तक, अम्लीय जलधारा से 90 प्रतिशत तक रंग को हटाने में सफल हो सका है।

• **ओजोन-पराबैंगनी विकिरण** : ओजोन-पराबैंगनी विकिरण विधि को सर्वप्रथम प्रेन्गले एवं उनके सहयोगियों¹⁴¹ (1980) ने विकसित किया तथा सायनाइड सम्मिलित किये हुये गंदेजलों के विनाश के लिये गैरीसन एवं उनके सहयोगियों¹⁴² (1975) द्वारा एकस्व अधिकार प्राप्त हुआ। उसके बाद, ऐलीफैटिक तथा ऐरोमेटिक क्लोरीन युक्त कार्बनिक संदूषकों¹²⁶, प्राकृतिक कार्बनिक पदार्थों¹⁴³ तथा कीटनाशकों^{144,145} को ऑक्सीकृत करने में इसका परीक्षण किया गया¹²⁶। इसके परिणाम ये प्रमाणित करते हैं कि ओजोन-पराबैंगनी विधि अभिक्रिया की दर तथा निष्कासन दक्षता के सम्बन्ध में अकेले ओजोन से बहुत ज्यादा प्रभावी होता था। परक्लोरोएथीलीन तथा ट्राईक्लोरोएथीलीन सम्मिलित किये हुये साफ भूमिगत जल के निरुपण के लिये इसके उपयोग को प्रारम्भिक 1980 द्वारा व्यवसायिक हो चुका है। फिर भी, ओजोन-पराबैंगनी विधि को, बहुत से मामलों में ओजोन-हाइड्रोजन परॉक्साइड तथा ओजोन-पराबैंगनी विधियों की तुलना में अब कम किफायती समझा गया है। ओजोन-पराबैंगनी विधि में ओजोन अणुओं को सक्रिय करने के लिये पराबैंगनी फोटॉन का इस्तेमाल किया जाता है, इसके कारण हाइड्रॉक्सिल मूलकों के बनने में आसानी हो जाती है। ओजोन अणुओं का अधिकतम अवशोषण 253.7 नैनोमीटर पर होने के कारण, क्वार्टज आवरण से आच्छादित मध्यम-दाब मरकरी लैम्पों को प्रकाश स्रोत के लिये सामान्यतः उपयोग किया जाता है। यह 200-280 नैनोमीटर तरंगदैर्घ्य के पराबैंगनी प्रकाश को पैदा कर सकता है। बने हुये हाइड्रोजन परॉक्साइड को और अधिक प्रकाश अपघटन करने से दो हाइड्रॉक्साइड मूलक बनते हैं। वैकल्पिक रूप से, यह सर्वप्रथम हाइड्रॉपरॉक्सिल आयन में विघटित होता है तथा उसके बाद हाइड्रॉक्सिल मूलकों को बनाने के लिये ओजोन के साथ श्रेणी के श्रृंखला अभिक्रियाओं में भाग लेता है जैसा कि ओजोन-हाइड्रोजन परॉक्साइड विधि में होता है। जिससे कि हाइड्रोजन परॉक्साइड के अणु का प्रकाश विघटन बहुत ही धीमा होता है, दूसरा रास्ता ओजोन के अपघटन के लिये संभवतः उदासीन पीएच पर प्रबल होता है। इस प्रकार, ओजोन-पराबैंगनी विकिरण विधि की अभिक्रिया क्रियाविधि के सम्बन्ध में

ओजोन-हाइड्रोजन परॉक्साइड विधि के सदृश होता है तथा कार्बनिक नाश की दर में वृद्धि को हाइड्रोजन परॉक्साइड उत्प्रेरित ओजोन के अपघटन के द्वारा समझा जा सकता है। ध्यान देने वाली महत्वपूर्ण बात यह है कि इस प्रकार से बने हाइड्रोजन परॉक्साइड के पैदा होने के कारण, यह व्यवसाय में उपयोग होने वाले वैद्युत रासायनिक विधि से बहुत कम दक्ष होता है। ओजोन-पराबैंगनी विकिरण विधि, ओजोन-हाइड्रोजन परॉक्साइड विधि से ज्यादा कीमती होता अपेक्षित होगा। यह ध्यान देना चाहिये कि अन्य अभिक्रिया क्रियाविधि भी, ओजोन-पराबैंगनी विकिरण विधि द्वारा कार्बनिक यौगिकों का ऑक्सीकरण की दर को बढ़ाने में मदद कर सकती है। पराबैंगनी विकिरण कुछ कार्बनिक यौगिकों के सीधे उद्दीपन में मुख्य भूमिका निभा सकती है। उद्दीपित यौगिक उसके बाद ओजोन अणुओं से अभिक्रिया करके विविध विघटित उत्पादों को बनाती है। इस प्रकार, इस क्रियाविधि को दक्षता को, ओजोन के उच्च सान्द्रता के द्वारा बढ़ाया भी जा सकता है। सामान्य घटनाओं में, पराबैंगनी ऊर्जा के लिये कार्बनिक यौगिकों से स्पर्धा करते हुये ओजोन स्वयं ही पराबैंगनी प्रकाश को अवशोषित कर लेगा।

• **हाइड्रोजन परॉक्साइड-पराबैंगनी विकिरण** : हाइड्रोजन परॉक्साइड-पराबैंगनी विकिरण विधि को, दुर्दम्य संदूषकों के ऑक्सीकरण के लिये मुख्यतः उपयोग किया जाता है। हाइड्रोजन परॉक्साइड प्रकाश विघटित होकर दो हाइड्रॉक्सिल मूलक बनायेगा। बना हुआ हाइड्रॉक्सिल मूलक उसके बाद कार्बनिक संदूषकों से अभिक्रिया करता है या हाइड्रोजन परॉक्साइड विघटन-निर्माण चक्र से गुजरता है। यह रुचि की बात है कि हाइड्रोजन परॉक्साइड, हाइड्रॉक्सिल मूलकों के लिये अपमार्जक की तरह भी व्यवहार करता है, जब किसी परिस्थिति में हाइड्रोजन परॉक्साइड की अत्यधिक मात्रा, मूलक के विघटन को अवष्टब्ध कर देती है। जबकि पर्याप्त हाइड्रोजन परॉक्साइड की मात्रा आवश्यक होती है जिससे कि यह हाइड्रॉक्सिल मूलकों के उत्पादन को तेजी से बढ़ाने के लिये पराबैंगनी विकिरण को अवशोषित कर सकें। ओजोन के विपरीत, हाइड्रोजन परॉक्साइड में 200-300 नैनोमीटर की तरंगदैर्घ्य की सीमा के अन्दर असमान्य रूप से कम मोलर अवशोषकता होती है। इस प्रकार, यह जल में कार्बनिक यौगिकों तथा निलम्बित ठोसों द्वारा पराबैंगनी के अवशोषण को स्पर्धा करने के लिये खास तौर से अतिसंवेदनशील होती है। यदि कार्बनिक यौगिक सक्रियता के बाद, हाइड्रोजन परॉक्साइड से बहुत तेजी से अभिक्रिया करता है, ऐसे सीधे प्रकाश ऑक्सीकरण, हाइड्रोजन परॉक्साइड-पराबैंगनी तंत्र में सम्पूर्ण विघटन के लिये एक मुख्य योगदान अपेक्षित करता है।

• **पराबैंगनी विकिरण** : विभिन्न उन्नत ऑक्सीकरण विधियों में इसके उपयोग के साथ-साथ पराबैंगनी विकिरण, 1970 के मध्य में सूक्ष्मजीवों को कम करने की कार्यवाही के रूप में व्यापक रूप से उपयोग किया जा चुका है। यह विधि सामान्यतः कम दाब, पराबैंगनी लैम्प जिसमें मुख्य तरंगदैर्घ्य 254 नैनोमीटर का होता है, के उपयोग को शामिल करते हैं। आधुनिक अध्ययन में यह दर्शाया जा चुका है कि कम तथा मध्यम दाब दोनों (लैम्प के अन्दर का गैस दाब ≈ 1000 टोर) पराबैंगनी लैम्पों जिसमें 200-300 नैनोमीटर की तरंगदैर्घ्य सीमा होती है, क्रिप्टोस्पोरीडियम ऊवोसिस्ट की निष्क्रियता में बराबर से प्रभावी हो सकता है¹⁴⁶। जल तथा गंदेजल निरुपण में, पराबैंगनी विकिरण की मात्रा ($w\text{Å.s/cm}^2$) को, पराबैंगनी विकिरण से दिये गये सूक्ष्मजीवों के सम्पूर्ण प्रदर्शन को प्रस्तुत करने के लिये सामान्यतः उपयोग किया जाता है। इसे सभी तरंगदैर्घ्य समय के प्रदर्शन समय तथा सभी दिशाओं से सम्पूर्ण आपतित विकिरण के प्रति इकाई क्षेत्र की दर से परिभाषित किया जा सकता है। सम्पूर्ण आपतित विकिरण को मापने के लिये, विविध विधियों को प्रस्तुत किया जा चुका है जो कि प्रकाश को या तो ऊष्मा या विद्युत धारा में बदलती है। जो संकेत उत्पन्न होता है, तब उसे या तो ऊष्मीय या फोटॉनिक संकेतक के द्वारा पता लगाया जाता है। बोल्टन (1999) के द्वारा प्रस्तुत सार के रूप में, कुछ मापक विधियों में रेडियोमीटर, पराबैंगनी संवेदक तथा एकटीनोमेट्री शामिल हैं¹⁴⁶।

• **सक्रियण कार्बन** : सक्रियण कार्बन को, अत्यन्त शुद्ध जल में बहुत से कार्बनिक अल्प संदूषकों जैसे कि कीटनाशकों के निष्कासन के लिये इसकी दक्षता को प्रमाणित किया जा चुका है¹⁴⁷⁻¹⁵²। अधिशोषण की मात्रा, सक्रियण कार्बन की गुणवत्ता (जैसे कि सतही क्षेत्रफल, छिद्र आकार विभाजन, सतही आवेश तथा जलविरोधकता)। पर निर्भर करती है¹⁵³। इसके परिणामस्वरूप, चूर्ण या दानेदार सक्रियण कार्बन के द्वारा संदूषकों के अवशोषण को विशिष्ट संयंत्र के लिये सबसे बेहतर ढंग से उपयोग में लाना चाहिये। अन्य उदाहरण सिन्डेर एवं उनके सहयोगियों (2003) के द्वारा तैयार किया गया जो यह दर्शाता है कि चूर्ण सक्रियण कार्बन (10-200 मिलीग्राम/लीटर) का उपयोग करके सात प्रतिजैविक को दक्षता के साथ निष्कासित किया जाता है¹⁵⁴। यह अध्ययन प्रमाणित करता है कि आसुत जल की तुलना में नदी के जल में निष्कासन 10 से 20 प्रतिशत द्वारा कम होता है।

• **जैव छनाई** : जैविक गंदेजल विधियों¹⁵⁴⁻¹⁵⁸ के दौरान कुछ अल्प कार्बनिक संदूषकों का जैव विघटन होता है जो कि पेयजल के संदूषक स्रोतों के खतरों को कम करती है¹⁵⁹। पेयजल निरुपण के

लिये सामान्य जैविक सक्रिय निरुपण विधियों में धीमी बालू छनाई, जैविक सक्रिय कार्बन छनाई, तथा नदीतट छनाई शामिल हैं जो कि कुछ जैव विघटित संदूषकों का आसानी से निष्कासन करती हैं। नदी जैवफिल्म तंत्रों में इबूप्रोफेन तथा क्लोफीब्ररीक अम्ल के जैवविघटन को प्रक्षिप्त किया गया¹⁶⁰। जैविक सक्रिय कार्बन का उपयोग करके इन्डोक्राइन बाधित रासायन जैसे कि एमीट्रोएल को प्रभावी रूप से जैवविघटित किया गया लेकिन जी ए सी वर असंतोष ढंग से अधिशोषित होता है जबकि नोनीलफिनोल तथा बिसफिनोल ए दर्शाता है कि अधिशोषण क्षमता समय के साथ कम हो जाती है जो यह सुझाव देता है कि इन यौगिकों का जैवविघटन सीमित है¹⁶¹। परंपरागत गंदेजल निरुपण के दौरान, रैन्जेनोविक एवं उनके सहयोगियों (2009) ने इबूप्रोफेन, एसीटामीनोफेन, नैप्रोसेन, सल्फामेथोऑक्साजोल, ऑफलोक्ससीन तथा बेन्जाफाइब्रेट के उच्च निष्कासन ($\geq 70\%$) को प्रदर्शित किया है। कुछ यौगिकों जैसे कि कार्बोमाजेपीन तथा जेमफाइब्रोक्सिल, पेयजल तथा गंदेजल के जैविक निरुपण में अनवरत रहते हैं^{156,158}। फिर भी ऑक्सीकरण विधियों के लिये जैसा अंकित किया गया है, अल्प मात्रा में कार्बनिक संदूषकों का जैविक विघटन, मूल यौगिकों को उनके उपोत्पाद में रूपान्तरित कर देता है जो कि पर्यावरण संबंधी कारक होता है लेकिन इस क्षेत्र में और अधिक शोध करने की आवश्यकता है।

संदर्भ

1. Arnal C & Morand S, *Marine Biology*, **138** (2001) 777-784.
2. Skandhan K P, Amit S, Karunatilae LPA, Avai KPS, Singh K, *Ayurveda*, **32** (40) (2001) 448-450.
3. Morley D, Lancet, **2** (8612) (1988) 686.
4. Idika N, Odugbemi T, Ogunsola F T, *Am. J. clin. Exp. Microbiology*, **3** (2002) 41-44.
5. Lerch A, Panglish S, Buchta P, Tomita Y, Yonekaawa H, Hottori K, Gimbel R, *Desalination*, **179** (2005) 41-50.
6. Rahaan M N, *Sintering of Ceramics*, Boca Roton, F.L. Taylor and Francis, (2008).
7. Duscher S t, *F & S International Edition* No. **14** (2014) 13-21.
8. Theresa M, Pendergast M, Hock EMV, *Energy and Environmental Science*, **4** (2011) 1946-1971.
9. Choppin G R, Silva R J, *Inorganic Nucl. Chem.*, **3** (1956) 153-154.
10. Clear feld A, Cahill RA, Wright S B & Bellinghausen P C, Sheipzer B, Plenum Press, New York, (1995) 165-175.
11. Devine B D, Shan T, Mc Gaughey A J, Phillpot SR, Sinnott S B, *Phys. Rev. B.*, **84** (12) (2011) 125308-125314.
12. Erhart P, Albe K, *Phys. Rev. B.*, **71** (14) (2005) 035211-035224.
13. Casanave D, Ciavarella P, Moueddeb H, Fioty K & Dalmon J, *Proc. 4th workshop, European Science Foundation network*, (1997) 153-162.

14. Dev Naylor T, (1994) Proc.Int.Congress Membrane and Membrane Process '96 Yokohama Japan, 778-779.
15. Koros W J, Ma Y H & Simidzu T, *Pure and Applied Chem.*, **67** (1996) 1479-1489.
16. Nagy B, Bodart P, Hannus I & Krricsi I, DecaGen Szeged-Szorgreg, Hungray (1998)
17. Tavalaro A, Drioli E, Adv. Mater., **11**(1999) 975-996.
18. Palacio L, Bouzerdib Y & Ouammoub M, *Desalination*, **246** (2009) 128-131.
19. Li K, John Wiley & Sons, Inc. England, (2007).
20. Vasanth D, Pugazhenthii G & Uppaluri R, *J. Membrane Sci.*, **379** (2011) 154-163.
21. Duraisamy R T, Beni AH & Henni A, In water treatment, Rijieka Croatia; InTech, (2013) 199-222.
22. Kong J, Li K, Separation and purification Technology, **16**(1999) 83-93.
23. Wandara D, University of Clemson, United State, Ph D. dissertation, (2012).
24. Lin H F, Ph D. Dissertation, Hong Kong Polytechnique University, (2006).
25. Mulder J, Basic principles of Membrane Technology, Springer IInd edition, (1996).
26. Vander Bruggen B, Schaep J, Wilms D and Vandecasteele C, *J. Membrane Science*, **156** (1999) 29-41.
27. Lee S, Park G, Hong S K, Moon S H, Lee DH & Cho J, *J. Membrane Science*, 201(2002) 191-201.
28. Kosutic K & Kunst B, *Desalination*, **142** (2002) 47-56.
29. Kosutic K, Furac L, Sipos L & Kunst B, *Seperation and Purification technology*, **42** (2005) 137-144.
30. Kosutic K, Dolar D & Kunst B, *J. Membrane Science*, **282** (2006) 109-114.
31. Vander Bruggen B, Schaep J, Mess W, Wilms D, Vander C & Caestele P, *Desalination*, **117** (1998) 139-147.
32. Kiso Y, Nishimura Y, Kitao T & Nishimura K, *J. Membrane Science*, **171** (2000) 229-237.
33. Kiso Y, Sugiura Y, Kitao T & Nishimura K, *J. Membrane Science*, **192** (2001) 1-10.
34. Liikanen R, Espoo, Teknillinen Korkeakoulu, (1999) 94.
35. Steindl R J & Rackemann D W, Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol., **27** (2010).
36. Lee S & Lee C, *Seperation Science and Technology*, **44** (1) (2006) 01-23.
37. Chang E, Chen Y, Lin Y & Chiang P, *Chemosphere*, **76** (9) (2009) 1265-1272.
38. Lau W J, Goh P S, Ismail A F & Lai S O, A review. *Membrane water treatment*, **5** (2104) 15-19.
39. Costa A R & dePinho M N, *Desalination*, **199** (1-3) (2006) 73-75.
40. Dong X, AlAwak M, Wang P, Sun Y P & Yang L, RSC Adv., **8** (2018) 8292-8301.
41. Goh P S, Ng B, Lau W J & Ismail A F, *Seperation and Purification Reviews*, **44** (2015) 216-249.
42. Agenson K O, Oh JI & Uruse T, *Journal of membrane Science*, **225** (2003) 91-103.
43. Ventresque C, Gisclon V, Bablon G & Chagnaeau G, *Desalination*, **131**(2000) 1-16.
44. Ouyang L R, Malaisamy R & Bruening M L, *J. Membrane Science*, **310** (2008) 76-84.
45. Maher A, Sadeghi M & Moheb A, *Desalination*, **352** (2014) 166-173.
46. Shan W, Bacchin P, Aimar P, Bruening M L & Taabara V V, OATAO doi: 10.1016/j.memsci.2009.11.05 (2009).
47. Dan Li & Wang H, *J. of Mater. Chem.*, **20** (2010) 4551-4566.
48. Calvo A R A, Castro GAS, Osorio F, Lopez J G & Calvo C, *Hydrol. Current Res.*, **5** (2014), 5-7.
49. Ngheim L D, Schafer A I d Elimelech M, *Environmental Science & technology*, **38** (6) (2004) 1888-1896.
50. John C C, Trussel R R, Hand D W & Howe K J and Tchobanoglous G, MWH's water treatment, Principle and Design Ist Ed., (2005).
51. Laine J M, Hagstrom J P, Clark M M & Mallevialle J, *Membrane Technology*, **81**(1989) 61-67.
52. Ngheim L D, Schafer A I & Waite T D, *Desalination*, **147**(2002) 269-274.
53. Tiwari S A, Bhattacharya K P, Goswami D, Srivastava V K & Hanra M S, *BARC Newsletter*, **249** (2004) 220-225.
54. Hobbs C, Hong S & Taylor J, Proceedings of AWWA 2001 *Membrane Technology Conference*, March 4-7, 2001, San Antonio, Texas, (2001).
55. Allegrezza A, Marcel Dekker, Inc, New York, (1998).
56. Koros WJ, Ma YH & Shimidzu T, *J. of Membr. Sci.*, **120** (1996) 149-159.
57. Causserand C, Aimar P, Cravendi J P & Signlande E, *Water Research*, **39** (2005) 1554-1600.
58. Gardner R M, Buchanan C M, Komarek R, Dorschel D, Boggs C & White A W, *J. Applied polymer Science*, **52** (1994) 1477-1488.
59. Gang Li, Xue-Mei Li, Tao H, Jiang B & Gao C, *Desalination and water treatment*, **51** (2013) 2656-2665.
60. Rao A P, Desai N V & Rangrajan R, *J. Membr. Sci.*, **124** (1997) 263-272.
61. Tomaszewska M & Mozia S, *J. water research*, **36** (16) (2002) 4137-4143.
62. Zhu H & Zhu Y, *Modern applied Science*, **3** (2009) 144-150.
63. Sadrzadeh M, Gorouhi E & Mohammadi T, Twelfth Int. *water technolgy Conference*, IWTC 12, Alexandria, Egypt, (2008) 1-11.
64. Kim H J, Pant H R & Kim C S, *J. of Nanomaterials and Biostructures*, **9** (2014) 266-284.
65. Ahmed S A, Nasreen N, Sundarajan S, Nizar SAS, Balamugan R & Ramakrishna S, *Membrane*, **3** (2013) 266-284.
66. Eriksson P, *Environment Prog.*, **7** (1988) 58-62.
67. Cadotte J R, Forester M, Kim R, Petersen & Stocker T, *Desalination*, **70** (1988) 77-88.
68. Williams M, Bhattacharya D, Ray R & McCray S, handbook WSW Ho and K.K. Sirkar ed. Van Nostrand Reinhold New York, (1992) 312-354.
69. Xu Y & Lebrun R E, *J. of Membrane Sci.*, **158** (1999) 93-104.
70. Deshmukh S S & Childress A E, *Desalination*, **140** (2001) 87- 95.
71. Berg G, Dahling D R & Berman D, *Appl. Microbiology*, **22** (1971) 608-614.
72. Boonthanon S, Hwan L S & Vigneshwaran S, *Flit. Sep*, **28** (1991) 199-201.

73. Shen J J & Probststein R F, Ind. And Eng. Chem. Process Design and Dev., **18** (1979) 547-554.
74. Mallubhotla H & Belfort G, *J. Membr. Sci.*, **125** (1997) 75-91.
75. Reed B E, Lin W, Viadero R Jr & Young J, *J. Environ. Eng. ASCE*, **123** (1997) 1234-1242.
76. Cabbassud C, Laborie S & Laine J M, *J. Membrane. Sci.*, **128** (1997) 93-101.
77. Chellam S, Jacangelo J G, Bonaacquisti T P & Schauer B A, *J. Am water Works Assoc.*, **89** (1997) 77-89.
78. Koach membrane systems: Staford: European headquarters for Koch membrane system. Available: [http://www.kochmembrane.com/Learning centre/ con_gurations what-are-spiral membranes.aspx](http://www.kochmembrane.com/Learning%20centre/con_gurations%20what-are-spiral%20membranes.aspx) [2012-02-15] (2012).
79. Badrnezhad R & Heydari Beni A, *Journal of Water Reuse and Desalination*, (2013) doi:10.2166/wrd.2013.092.
80. Sarfaraz M V, Ahmadpour E, Salahi A, Rekabdar F & Mirza B, *Chem. Eng. Res. Des.*, **90** (2012) 1642-1651.
81. Vincetvela M C, Bergantinos-Rodriguez E Blanco S A & Garcia J L, *Desalination*, **221**(1-3) (2008) 383-389.
82. Hwang K J & Lin T T, *Journal of membrane science*, **199** (2002) 41-52.
83. Guo W, Ngo H & Vigneshwaran S, *Virginia American Society of Civil Engineers* (2012) 533-580 ISBN 9780784412275.
84. Lee S & Lee C, *Seperation and Purification technology*, **56** (2007) 1-8.
85. Vigeneswaran S, Sathananthan S, Shon H K, Kandasamy J & Visvanathan C, *Dasalination of membrane processes In*, (2012).
86. Schafer A I, Fane A G & Waite T D, 1st Ed. Elsevier Advance technology, Oxford (2005).
87. Noberga R D, Balmann H, Amir P & Sanchez V, *J. Membarne Science*, **45** (1989) 17-36.
88. Balmann H D & Noberga R, *Journal of Membrane Science*, **40** (1989) 311-327.
89. Attia H, Bennasar M & Tarodo BDLF, *J. of Dairy Res.*, **58** (1991) 51-65.
90. Blatt W F, Dravid A, Michaels A S & Nelsed L, *Membrane Science and Technolgy* (Ed. by J.E. Flinn) New York, Plenum Press, (1970) 47-49.
91. Porter M C, Handbook of separation techniques for chemical Engineers 2nd McGrawhill book company, New York, (1988) 2.3-2.013.
92. Braghetta A, Jacangelo J G, Chellam S, Hotalling M & Utne BA, *J. Am. Water works Association*, **89** (1997) 90-101.
93. Adham S S, Snoeynik V L, Clark M M & Bersillion J L, *J. Am. Water Works Assoc.*, **83** (12) (1991) 81-91.
94. Wiesner M R & Chellam S, *Environ. Sci. Technol.*, **33** (1999) 360A-366A.
95. Belfort G, Davis R H & Zydne AL, *J. Membrane Sci*, **96** (1994) 01-58.
96. Cote P, Buisson H & Praderie M, *Water Sci. Technol.*, **38** (5/5) (1998) 437-442.
97. anny G. B., Haulk D, Merin U. *Desalination*, **41** (1982) 299-312.
98. Liikanen R, Yli-Kuivila J & Laukkanen R, *J. Membrane Science*, **195** (2) (2002) 265-276.
99. Chen J P, Kim S L & Ting Y P, *J. Membrane Science*, **219** (1-2) (2003) 27-45.
100. Crittenden J C, Trussell R R, Hand D W, Howe K J & Techobanoglous G, 3rd Ed., New Jersey, Wiley, (2012) 1335-1414.
101. Matsumoto Y, Miwa T, Nakao S & Kimura S, *J. Chem. Engg.*, **29** (4) (1996) 561-567.
102. Kaiya Y, Itoh Y, Fujita K & Takizawa S., *Desalination*, **106** (1996) 71-77.
103. Yanagi C & Mori k, *Desalination*, **32** (1980) 391-398.
104. Nilson J A & DiGiano F A, *J. of American Water Works Asso.*, **88** (5) (1996) 53-66.
105. Carey M C, Hirom P C & Small D M, *Biochemical Journal*, **153**(3) (1976) 519-531.
106. Mallada R & Menendez M, Amsterdam, The Netherland Elsevier (ceramic membrane) (2008).
107. Hinds B J, Chopra N, Andrews R, Gavalas V & Bachas L, *Science*, **303** (2004) 62-65.
108. Majumdar M, Chopra N, Andrews R & Hinds B J, *Nature*, **438** (2005) 44-44.
109. Srivastava A, Srivastava O N, Talpatra S, Vajtai R & Ajaayan PM, *Nat. mater.*, **3** (2004) 610-614.
110. Peng F, Hu C & Jiang Z, *J. Membr. Sci.*, **297** (2007) 236-242.
111. Whitby M, Cagnon L, Thanou M & Quirke N, *Nano lett.*, **8** (2008) 2632-2637.
112. Judd S, *Trends in Biotechnology*, **26** (2) (2008) 109-116.
113. Xiang C H, Tardieu E, Qian Y & Wen XH, *J. of Membrane science*, **177** (2000) 73-82.
114. Howell J A, *Desalination*, **162** (2004) 1-11.
115. Verrecht B, Maere T, Nopens I, Brepols C & Judd S, *Water Research*, **44** (18) (2010) 5274-5283.
116. Ayala D F, Ferre V & Judd SJ, *J. of membrane Science*, (2011) doi 10.1016/j.memsci.2011.03.013
117. Mjumdaar M, Ajayan P M, Driolu E & Giorna L, *comprehensive membrane Science and engineering Elsivier Oxford*, **1** (2010) 291-310.
118. Miller S A, Yong V Y & Martin C R, *J. Am. Chem. Soc.*, **123** (2001) 12335-12342.
119. Tasis D, Tagmatrachis T, Banco A & Prato M, *Chem. Rev.*, **106** (2006) 1105-1136.
120. Burghard M & Balasubramaniam K, Small, **1** (2005) 180-192.
121. Celik E, Park H & Choi H, *Water Res.*, **45** (2011) 274-282.
122. Kang S, Hertzberg M, Rodriguis D R & Elimelch M, Langmuir, **24** (2008) 6409-6413.
123. Narayan R J, Berry C J & Brigmon R L, *Mat. Sci Engg. B*, **123** (2005) 123-129.
124. Mallevialle J, Odendall P E & Weisner MR, water treatment membrane process McGraw Hill New York, (1996).
125. Winzeler H B & Belfort G, *J. membr. Sci.*, **80** (1993) 35-47.
126. Glaze W H, *Environm. Sci. Technol.*, **21** (1987) 224-230.
127. Langlais B, Reckhow D A & Brink D R, Lewis Publishers Inc., Chelsea Mich., (1991).
128. Masten S J & Devies SHR, *Environ. Sci. Technol.*, **28** (1994) 180A-185A.
129. Zhou H & Smith D W, *Water Sci. Techol.*, **32** (2/3) (1997) 249-260.
130. Ozekin K, Westterhoff P, Amy GL & Siddiqui M, *J. Environ. Eng. ASCE*, **124** (1997) 456-462.

131. Singer P C, *J. Am. Water works Assoc.*, **82** (10) (1990) 78-88.
132. Siddiqui M S, Amy G L & Rice RG, *J. Am. Water Works Assoc.*, **87** (10) (1995) 58-70.
133. Song R, Westerhoff P, Minear R & Amy GL, *J. Am. Water Works Assoc.*, **89** (6) (1997) 69-78.
134. Von Gunten U, Bruchet A & Costentin E, *J. Am. Water Works Assoc.*, **87** (6) (1996) 53-65.
135. Westerhoff P, Song R, Amy G & Minear R, *Water Research*, **3** (25) (1998) 1687-1699.
136. Shukairy H M, Miltner R J & Summers R S, *J. Am. Water works Assoc.*, **87** (10) (1995) 71-82.
137. Ferguson D W, McGuire M J, Koch B, Wolfe R L & Aieta EM, *J. Am. Water works Assoc.*, **82** (4) (1990) 181.
138. Karimi A A, Redman J A, Glaze W H & Stolarik G F, *J. Am. Water works Assoc.*, **89** (8) (1997) 41-53.
139. Paillard H, Brunet R & Dore M, *Water Res.*, **22** (1988) 91-103.
140. Murphy J K, Hulseley R A, Long B W & Amarnath R K, Ozone in Water and Wastewater Treatment, Proceeding 11th Ozone World Congress, San Francisco, 10-24-37, 2 (1993).
141. Prengle H W, Nall A E & Josh D S, Report EPA-600/2-80-100, U.S. Environmental Protection agency, Cincinnati, Ohio, (1980).
142. Garrison R L, Mauck C E & Prengle H W, In proceedings of the 1st International Symposium on Ozone, Syracuse, N.Y. (1975) 551-577.
143. Glaze W H, Peyton G R, Lin S & Haung FYB, *Environ. Sci. Technology*, **16** (1982) 454-498.
144. Beltran F J, Gracia-Araya J F & Acedo B, *Water Res.*, **28** (1994a) 2153-2164.
145. Beltran F J, Gracia-Araya J F & Acedo B, *Water Res.*, **28** (1994b) 2165-2174.
146. Bukhari Z, Hargy T M, Bolton J R, Dussert B & Clancy J L, *J. Am. Water works Assoc.*, **91** (3) (1999) 86-94.
147. Rossner A, Snyder S A & Knappe DRU, *Wat. Res.*, **43** (2009) 3787-3796.
148. Yu Z, PhD thesis, University of Waterloo, Waterloo, Canada, (2007).
149. Yoon Y, Westerhoff P, Snyder S A, Wert EC & Yoon J, *J. Membr. Sci.*, **270** (2006) 88-100.
150. Ternes T A, Meisenheimer M, McDowell D, Sacher F, Brauch H J, Haist-Gulde B, Preuss G, Wilme U & Zulei-Seibert N, *Environ. Sci. Technol.*, **36** (2002) 3855-3863.
151. Adams C, Wang Y, Loftin K & Meyer M, *J. Environ. Eng. ASCE*, **128** (3) (2002) 253-260.
152. Miltner R J, Baker D B, Speth T F & Fronk C A, *J. Am. Water works Assoc.*, 81(1) (1989) 43-52.
153. Snyder S A, Westerhoff P, Yoon Y & Sedlak D L, *Environ. Eng. Sci.*, **20** (5) (2003) 449- 469.
154. Clara M, Windhofer G. & Hartl W, *Chemosphere*, **78** (2010) 1078-1084.
155. Nghiem L D, Tadkaew N & Sivakumar M, *Desalination*, **236** (2009) 127-134.
156. Radjenovic J, Petrovic M & Barcelo D, *Wat. Res.*, **43** (2009) 831-841.
157. Kimura K, Hara H & Watanabe Y, *Environ. Sci. Technol.*, **41** (2007) 3708-3714.
158. Joss A, Keller E, Alder A C, Gobel A, Mc Ardell C S, Ternes T A & Siegrist H, *Wat. Res.*, **39** (2005) 3139-3152.
159. Lindqvist N, Tuhkanen T & Kronberg L, *Wat. Res.*, **39** (2005) 2219-2228.
160. Winkler S, Muller-Rechberger H, Nowak O, Svoldal K & Wardl G, *Wat. Sci. Tech.*, **43** (7) (2001) 19-27.
161. Choi K J, Kim S G, Kim C W & Kim S H, *Chemosphere*, **58** (2005) 1535-1545.