



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۰۷۴۶

چاپ اول

۱۳۹۵

INSO

20746

1st.Edition

2016

فناوری نانو- آزمون یکپارچگی سامانه‌های
غشائی تصفیه آب (نانوفیلتراسیون و
اسمز معکوس)- روش آزمون

**Nanotechnologies – Standard Practice for
Integrity testing of water filtration
membrane systems
(Nanofiltration and Reverse Osmosis)**

ICS: 13.060.01

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین‌شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) و وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
« فناوری نانو- آزمون یکپارچگی سامانه‌های غشائی تصفیه آب (نانوفیلتراسیون و
اسمز معکوس)- روش آزمون »

رئیس:

سمت و / یا نمایندگی

رشیدی مهرآبادی، عبدالله

عضو هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی

(دکتری مهندسی محیط زیست)

دبیر:

فاضلی، مجتبی

عضو هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی

(دکتری مهندسی محیط زیست)

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اسلامی پور، الهه

کارشناس ستاد توسعه فناوری نانو

(کارشناسی ارشد زیست شناسی)

افتخاری، محمدسعید

کارشناس شرکت فرآیندسازان مه‌باب

(کارشناسی ارشد مواد)

پوی پوی، حسن

کارشناس ستاد توسعه فناوری نانو

(کارشناس ارشد شیمی)

تراپیان، علی

عضو هیات علمی دانشگاه تهران

(دکترای مهندسی محیط زیست)

جعفریان دهکردی، علی

عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس

(دکتری مکانیک)

- رشیدی، لادن
(دکتری مهندسی شیمی بیوتکنولوژی)
پژوهشگاه استاندارد- سازمان ملی استاندارد
ایران
- سیفی، مهوش
(کارشناس ارشد مدیریت دولتی)
کارشناس استاندارد- بازنشسته سازمان ملی
استاندارد ایران
- شکرالله زاده، سهیلا
(دکتری مهندسی شیمی)
کارشناس سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی
ایران
- مرجوی، علی
(دانشجوی دکتری سیاست گذاری فناوری)
کارشناس ستاد توسعه فناوری نانو
- میرابی، مریم
(دکتری مهندسی محیط زیست)
عضو هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی
- نایب، حسین
(کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست)
دانشجوی دکتری دانشگاه شهید بهشتی
- نوربخش، رویا
(کارشناس ارشد سم شناسی)
پژوهشگاه استاندارد - سازمان ملی استاندارد
ایران
- هاشمی شهرکی، مهدی
(کارشناس ارشد عمران- مهندسی آب و فاضلاب)
دانشجوی دکتری دانشگاه شهید بهشتی

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
۵	پیش گفتار
و	فهرست مندرجات
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۳	۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها
۵	۴ اهمیت اصول روش
۶	۵ مواد و شناساگرها
۷	۶ دقت و بایاس
۸	۷ روش الف-آزمون زوال فشار و زوال خلاء
۸	۷-۱ هدف و دامنه کاربرد
۸	۷-۲ دامنه کاربرد
۸	۷-۳ اصول روش
۹	۸ روش انجام آزمون
۹	۸-۱ آزمون زوال فشار (PDT)
۱۲	۸-۲ آزمون زوال خلاء (VDT)
۱۳	۸-۳ انتخاب فشار آزمون
۱۵	۸-۴ تفسیر نتایج PDR و VDR به صورت مقادیر لگاریتم کاهش
۲۰	۹ روش ب-استفاده از آنالیزورهای کل کربن آلی برای پایش یکپارچگی سامانه‌های غشائی اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون
۲۰	۹-۱ دامنه کاربرد
۲۰	۹-۲ اصول روش
۲۲	۹-۳ اهمیت و کاربرد
۲۳	۹-۴ تداخلها
۲۴	۹-۵ دستگاه
۲۴	۹-۶ تفسیر نتایج
۲۵	۱۰ روش ج-آزمون مواد رنگی محلول
۲۵	۱۰-۱ دامنه کاربرد
۲۵	۱۰-۲ اصول روش
۲۶	۱۰-۳ دستگاه

۲۶	۴-۱۰ شناساگرها
۲۹	۵-۱۰ فرآیند
۳۰	۶-۱۰ محاسبات
۳۲	۱۱ روش د- استفاده از روش‌های پایش پیوسته پراش نور توسط ذرات برای پایش یکپارچگی غشاء
۳۲	۱-۱۱ دامنه کاربرد
۳۲	۲-۱۱ اصول روش
۳۴	۳-۱۱ اهمیت و کاربرد
۳۵	۴-۱۱ تداخل‌ها
۳۶	۵-۱۱ وسایل مورد نیاز
۳۸	۶-۱۱ واکنشگرها
۳۹	۷-۱۱ روش کار
۴۰	۸-۱۱ محاسبات
۴۱	۹-۱۱ تفسیر نتایج
۴۰	۱۲ کلمات کلیدی
۴۳	پیوست الف- استخراج معادلات
۴۸	پیوست ب- راهنمای به دست آوردن داده‌های اندازه‌گیری باکیفیت و قابل اعتماد از سامانه‌های پایش پیوسته

پیش‌گفتار

استاندارد « فناوری نانو- آزمون یکپارچگی سامانه‌های غشائی تصفیه آب (نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس)- روش آزمون » که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در بیست و ششمین اجلاس کمیته ملی فناوری نانو مورخ ۱۳۹۵/۱/۲۸ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استاندارد ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ASTM D 6908- 06 (Reapproved 2010), Standard Practice for Integrity Testing of Water Filtration Membrane Systems

فناوری نانو- آزمون یکپارچگی سامانه‌های غشائی تصفیه آب (نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس) - روش آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش آزمون عملکرد یکپارچگی تجهیزات غشایی اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون با آزمون‌های مبتنی بر اعمال هوا بر پایه زوال فشار و زوال خلأ، فناوری‌های مواد رنگی محلول و کدورت و آزمون‌های پایش عبور TOC برای پس‌زنی مواد معلق و میکروب‌ها می‌باشد. از این آزمون‌ها می‌توان برای غشاءهای با اندازه منافذ کمتر از $1 \mu\text{m}$ استفاده کرد. آزمون‌های TOC و رنگ عموماً تنها برای غشاءهای رده نانوفیلتراسیون (NF) و اسمز معکوس (RO) قابل اجرا هستند.

یادآوری ۱- این استاندارد، به تمامی روش‌های موجود برای آزمون یکپارچگی غشاء نمی‌پردازد.

یادآوری ۲- در این استاندارد، همه واحدهای اندازه‌گیری در سیستم متریک می‌باشد.

هشدار- این استاندارد، همه ملاحظات ایمنی مرتبط با استفاده از آن را بیان نمی‌کند. هرچند به بعضی از آن‌ها اشاره می‌کند. این بر عهده استفاده‌کننده از استاندارد است، که ایمنی و بهداشت مناسب کار را استفاده کرده و قبل از کار، محدودیت‌های کاربردی آن را تعیین نماید.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ASTM D1129 Terminology Relating to Water

2-2 ASTM D2777 Practice for Determination of Precision and Bias of Applicable Test Methods of Committee D19 on Water

2-3 ASTM D3370 Practices for Sampling Water from Closed Conduits

2-4 ASTM D3864 Guide for Continual On-Line Monitoring Systems for Water Analysis

2-5 ASTM D3923 Practices for Detecting Leaks in Reverse Osmosis and Nanofiltration Devices

2-6 ASTM D4839 Test Method for Total Carbon and Organic Carbon in Water by Ultraviolet, or Persulfate Oxidation, or Both, and Infrared Detection

2-7 ASTM D5173 Test Method for On-Line Monitoring of Carbon Compounds in Water by Chemical Oxidation, by UV Light Oxidation, by Both, or by High Temperature Combustion Followed by Gas Phase NDIR or by Electrolytic Conductivity

2-8 ASTM D5904 Test Method for Total Carbon, Inorganic Carbon, and Organic Carbon in Water by Ultraviolet, Persulfate Oxidation, and Membrane Conductivity Detection

2-9 ASTM D5997 Test Method for On-Line Monitoring of Total Carbon, Inorganic Carbon in Water by Ultraviolet, Persulfate Oxidation, and Membrane Conductivity Detection

2-10 ASTM D6161 Terminology Used for Microfiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration and Reverse Osmosis Membrane Processes

2-11 ASTM D6698 Test Method for On-Line Measurement of Turbidity Below 5 NTU in Water

2-12 ASTM E20 Practice for Particle Size Analysis of Particulate Substances in the Range of 0.2 to 75 μm by Optical Microscopy³

2-13 ASTM E128 Test Method for Maximum Pore Diameter and Permeability of Rigid Porous Filters for Laboratory Use

2-14 ASTM F658 Practice for Calibration of a Liquid-Borne Particle Counter Using an Optical System Based Upon Light Extinction³

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف به کار رفته در استاندارد ملی ایران شماره ۹۴۹۰ و استاندارد ASTM D1129 ، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود.

۱-۳

نقطه حباب

هنگامی که روزنه‌های یک غشا با مایع پر و فشار هوا به یک طرف آن اعمال گردد، کشش سطحی مانع از آن می‌شود که مایع تحت یک فشار هوای حداقل از منافذ خارج شود. به این فشار حداقل، نقطه حباب گفته می‌شود.

۲-۳

قطر معادل

equivalent Diameter

قطر یک روزنه است، که بر اساس نقطه حباب آن از فرمول شماره ۱ (طبق بند ۹-۳) محاسبه می‌شود. این اندازه لزوماً با ابعاد فیزیکی روزنه‌ها یکسان نمی‌باشد.

۳-۳

یکپارچگی

integrity

میزان پس‌زدن ذرات در یک سامانه غشایی می‌باشد که معمولاً به صورت لگاریتم کاهش بیان می‌شود.

۴-۳

عدد لگاریتم کاهش (LRV)

log Reduction Value (LRV)

مقیاس عملکرد یک سامانه غشایی در پس‌زدن ذرات است که به صورت لگاریتم نسبت غلظت ذرات در سیال تصفیه نشده به تصفیه شده بیان می‌شود. به طور مثال کاهش ده برابر غلظت ذرات، معادل یک واحد

افزایش LRV است. تعریف LRV در این استاندارد یکی از تعاریف متعدد مورد استفاده در صنعت است. کاربرد این استاندارد، باید دقت لازم را به کار گیرد تا این تعریف را با سایر تعاریف موجود اشتباه نگیرد.^۱

۵-۳

سامانه غشایی

membrane System

به مجموعه سخت‌افزار غشایی شامل غشاء، محفظه غشاء، لوله‌کشی داخلی، آب‌بندها و شیرها گفته می‌شود. این استاندارد در مورد هر نوع غشاء که دارای اندازه روزنه‌های کوچک‌تر از یک میکرون باشد، کاربرد دارد.

۶-۳

انتقال مشترک

multiplexing

به فرایند اشتراک‌گذاری^۲ یک مجموعه واحد از اجزای فیزیکی، نوری و/یا الکتریکی در نقاط مختلف نمونه‌برداری سامانه گفته می‌شود. در این استاندارد دو رویکرد برای انتقال مشترک در نظر گرفته شده است: انتقال مشترک با حسگر و با مایع.

انتقال مشترک حسگر یک نمونه به‌خصوص را با استفاده از یک حسگر منحصر به آن، پایش می‌کند. حسگرها به یک پردازشگر مرکزی متصل می‌باشند که در آن پردازش اطلاعات و اندازه‌گیری‌های ارسالی انجام می‌گیرد. انتقال مشترک مایع، ابزار دقیق واحدی را برای اندازه‌گیری و تحلیل جریان‌های نمونه از نقاط مختلف فرآیند به‌طور متوالی مورد استفاده قرار می‌دهد. نمونه‌ها از طریق سامانه متشکل از یک چند راهه^۳، شیرها و لوله‌کشی به سامانه تحلیل‌گر واحد هدایت می‌شوند.

۷-۳

انحراف معیار نسبی (RSD)

relative Standard Deviation (RSD)

یک عامل عمومی پایش پیوسته است، که برای کمی کردن نوسان خط مبنای پراش پرتو لیزری، در اثر برخورد با ذرات به کار می‌رود. به‌طور مثال، RSD ممکن است به‌صورت انحراف معیار تقسیم‌بر میانگین تعداد معینی از اندازه‌گیری‌ها در یک دوره زمانی، محاسبه شود. نتیجه این کسر در عدد ۱۰۰ ضرب و به‌صورت

۱- به‌طور مثال انجمن حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده آمریکا (USEPA) تعریف LRV را فقط برای ارگانسیم‌های بیماری‌زا (پاتوژن‌ها) استفاده می‌کند.

2- Sharing

3 - Manifold

درصد گزارش می‌شود. توالی زمان پایش در محدوده ۰/۱ تا ۶۰ ثانیه است. پارامتر RSD مختص فنون پراش پرتو لیزری با ذره می‌باشد، که شامل ذره شمار و کدورت سنج‌های لیزری است. RSD را می‌توان به‌عنوان یک پارامتر مستقل پایش در نظر گرفت. برای محاسبه RSD از روش‌های محاسبه دیگری هم می‌توان استفاده کرد.

۸-۳

حد کنترل بالا (UCL)

upper Control Limit

یک واژه عمومی برای بیان مقدار انباشتگی ماده‌ای است که موجب پخش یک باریکه نور تابش شده می‌شود. این مقدار، می‌تواند هم با کدورت و هم با شمارش ذرات با یک اندازه مشخص همبستگی داشته باشد.

۴ اهمیت اصول روش

روش‌های آزمونی که در این استاندارد توصیف شده‌اند، برای تعیین یکپارچگی سامانه‌های غشایی به‌کار می‌روند و قابل استفاده برای سامانه‌هایی هستند که دو نوع مدول غشایی فیبر توخالی و صفحه مسطح نظیر ترکیب ماریچی^۱ را شامل می‌شوند. همه این روش‌ها برای غشاءهای رده RO، NF و UF^۲ کاربرد دارند، در حالی که روش‌های آزمون رنگ و TOC^۳ برای غشاهای محدوده MF^۴ یا محدوده بالای اندازه روزه‌های UF (۱ μm و بزرگ‌تر) به دلیل حذف نامناسب یا ناچیز TOC قابل استفاده نیستند.

این روش‌ها را می‌توان برای تعیین تغییرات نسبی یکپارچگی یک سامانه به‌کار برد و یا از آن در کنار فرمول‌های، شرح داده شده در بند ۴-۸ برای تخمین یکپارچگی، به‌صورت مقدار لگاریتم کاهش بهره گرفت. در موارد حساس، لگاریتم کاهش محاسبه شده از این معادلات باید با انجام آزمون برای غشاء و پیکربندی^۵ سامانه مورداستفاده، تأیید شود.

قابلیت این روش‌ها در ردیابی هرگونه نقص، به‌اندازه سامانه یا بخشی از سامانه تحت آزمون، بستگی دارد. انتخاب بخش‌هایی کوچک‌تر از سامانه، حساسیت آزمون به نقص‌ها را افزایش می‌دهد. در انتخاب هر بخش مجزا از سامانه برای آزمون، به پیشنهاد‌های سازنده آن یا راهنمایی‌های عمومی ارائه شده در این استاندارد، توجه شود.

-
- 1- Spiral wound
 - 2 - Ultrafiltration
 - 3 - Total Organic Carbon
 - 4 - Microfiltration
 - 5 - Configuration

هنگامی که آزمون‌ها باهدف تعیین تأثیر نقص‌ها بر کیفیت آب تصفیه‌شده (که همان LRV سامانه است) باشد، کاربرد آنها تا حد زیادی مستقل از اندازه سامانه است. دلیل این امر آن است که جریان نشتی از هر نقص^۱ که باشد، به نسبت نرخ جریان کل سامانه رقیق می‌شود. به‌عنوان مثال کیفیت آب خروجی یک سامانه با ۱۰ مدول و یک نقص با یک سامانه ۱۰۰ مدولی با ده عدد نقص با همان اندازه، یکسان خواهد بود.

۵ مواد و شناساگرها

۱-۵ شناساگرها^۲

فهرست شناساگرها و تجهیزات موردنیاز برای آزمون TOC در استاندارد ASTM D5173 ذکر شده است.

۲-۵ محلول رنگ

از FD&C یا رنگ‌های معرف مانند FD&C Red#40 حل شده در آب تراویده RO یا آب نوع IV از درجه معرف استاندارد ASTM استفاده کنید.

۳-۵ استانداردهای پراش نور

برای انتخاب استانداردهای مناسب برای کدورت، به‌روش آزمون شرح داده‌شده در استاندارد ASTM D6698 مراجعه کنید. علاوه بر این تا زمانی که غلظت مواد با پاسخ دستگاه، دارای همبستگی قابل قبول باشد، می‌توان استانداردهای لاتکس پلی استایرن با یک دانه‌بندی و غلظت مشخص را به‌جای استاندارد کدورت به‌کاربرد.

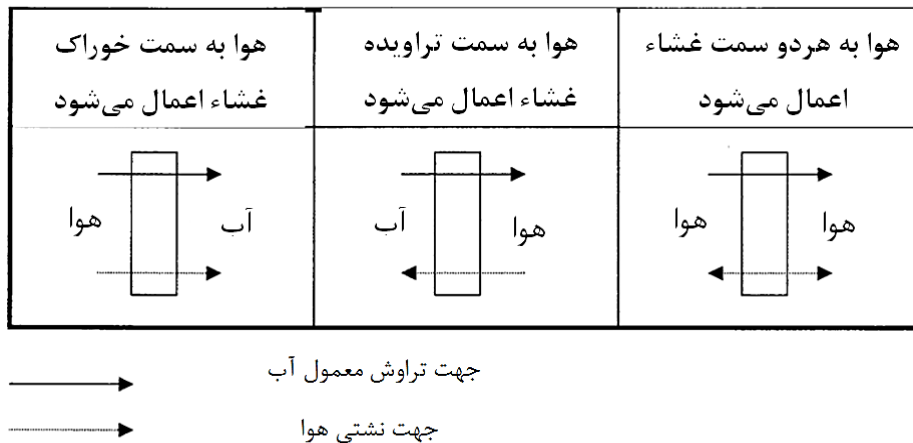
۴-۵ استانداردهای زوال نور^۳

برای کالیبراسیون دستگاه‌های شمارش ذرات بهتر است از استانداردهایی نظیر ذرات کروی لاتکس پلی استایرن استفاده کنید. برای انتخاب نوع و قطر استاندارد مناسب با سازنده دستگاه مشورت نمایید.

۶ دقت و بایاس^۴

داده‌های دقت یا بایاس را نمی‌توان برای این آزمون‌ها به دست آورد، زیرا اندازه‌گیری‌های مربوط به تجهیز تحت آزمون، به‌صورت پیوسته انجام می‌شود. ابزارهای مناسبی برای انجام آزمون‌های بین آزمایشگاهی برای تأمین الزامات روش شرح داده‌شده در استاندارد ASTM D2777 وجود ندارد. ناتوانی در تعیین دقت و بایاس برای روش‌های به‌کار رفته در نمونه‌برداری پیوسته و یا اندازه‌گیری مشخصات ویژه، در بند هدف استاندارد فوق مشخص و بیان شده است.

1- Bypass flow from any given defect
2- Reagents
3- Light obscuration
4- Bias



شکل ۱- ترکیب‌های مختلف برای آزمون زوال فشار

یادآوری- مثال آخر نشان‌دهنده آزمون زوال خلأ است، زمانی که به یک طرف غشاء اعمال می‌شود.

۷ روش الف- آزمون زوال فشار و زوال خلأ

۱-۷ هدف و دامنه کاربرد

هدف از این روش، تعیین میزان یکپارچگی سامانه‌های غشایی با استفاده از آزمون زوال فشار (PDT)^۱ و زوال خلأ (VDT)^۲ می‌باشد.

۲-۷ دامنه کاربرد

روش‌های آزمون تعیین شده در این استاندارد، برای همه رده‌های غشایی از RO تا MF کاربرد دارد. همچنین این روش‌ها برای ترکیب‌های فیبر توخالی، لوله‌ای و صفحه مسطح (همانند نوع مارپیچی) مناسب است.

یادآوری ۱- روش PDT عمدتاً برای آزمون درجای سامانه‌های UF و MF و روش VDT برای آزمون المان‌ها و سامانه‌های NF و RO به کار می‌روند (به روش استاندارد ASTM D3923 مراجعه شود).

یادآوری ۲- این آزمون‌ها برای پایش و کنترل نقص‌های بزرگ‌تر از ۱ تا ۲ میکرون کاربرد دارند (به بند ۸-۳ انتخاب فشار آزمون مراجعه شود).

یادآوری ۳- این آزمون‌ها به اشکال گوناگونی قابل اجرا هستند، مشروط بر اینکه یک اختلاف فشار کمتر از نقطه حباب توسط هوا در سمت با فشار بالای غشای خیس‌انده شده ایجاد شود (مثال‌هایی در شکل ۱ ارائه شده است).

1- Pressure Decay Test

2- Vacuum Decay Test

۳-۷ اصول روش

این آزمون‌ها بر این اصل استوارند که اگر فشار هوایی که بر یک‌طرف غشای یکپارچه و کاملاً خیس اعمال می‌شود، کمتر از نقطه حباب آن باشد، هیچ‌گونه جریان هوایی از میان غشاء عبور نمی‌کند، بجز نفوذی^۱ که از طریق مایع درون دیواره غشا انجام می‌پذیرد. در صورتی که نقص^۲ یا نشتی در غشا وجود داشته باشد، مشروط بر این که اندازه آن به گونه‌ای باشد که نقطه حباب کمتر از فشار اعمال شده آزمون ایجاد نماید، هوا به راحتی از این نقطه جریان می‌یابد. پیکربندی‌های مربوط به اعمال هوا و آب، در شکل ۱ نشان داده شده است.

آزمون‌های مبتنی بر اعمال هوا، بر اساس وارد کردن هوا در فشاری کمتر از نقطه حباب به یک‌سوی غشای خیس و اندازه‌گیری میزان هوای عبوری به طرف دیگر انجام می‌شوند. جریان هوا را می‌توان به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمود. ولی معمولاً از اندازه‌گیری زوال فشار یا خلأ استفاده می‌شود. در روش PDT یک سمت غشا (سمت خوراک یا آب فیلتر شده) مسدود شده و به وسیله هوا تحت فشار قرار می‌گیرد. جریان هوا بر اساس نرخ افت فشار اندازه‌گیری می‌شود. در روش VDT نیز یک‌طرف غشا مسدود شده و در طرف دیگر به منظور ایجاد اختلاف فشار، یک خلأ جزئی نسبت به فشار اتمسفر اعمال و جریان هوا بر اساس نرخ افت خلأ اندازه‌گیری می‌شود. نتایج آزمون‌های PDT و VDT معیار مستقیمی برای تعیین میزان یکپارچگی سامانه غشایی هستند.

۸ روش انجام آزمون

۸-۱ آزمون زوال فشار (PDT)

آزمون زوال فشار را می‌توان با اعمال فشار به هر یک از دو طرف غشاء انجام داد (شکل ۱ را ببینید). قبل از انجام آزمون، سامانه باید تا خیس شدن کامل غشاء در فشار متعارف خود، کار کند. مراحل انجام آزمون زوال فشار عبارت‌اند از:

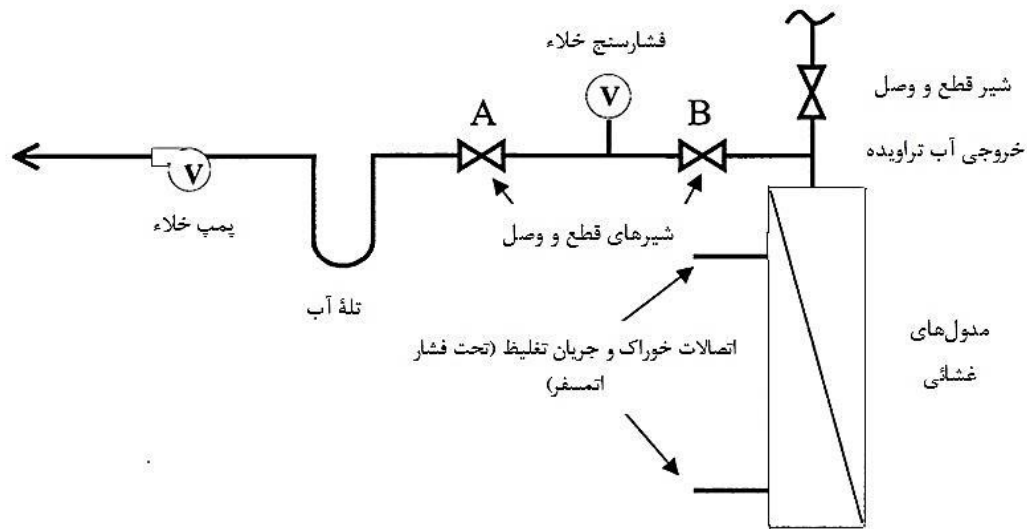
مایع را از سمتی که غشاء تحت فشار قرار می‌گیرد (که در اینجا سمت بالادست نامیده می‌شود) تخلیه کنید.

سمت پایین دست سامانه غشایی را در معرض فشار اتمسفر قرار دهید. بدین ترتیب می‌توان اطمینان حاصل کرد که هوای نشت یافته یا نفوذی از میان غشاء بدون ایجاد پس فشار^۳، آزادانه رها شده و فشار پایین دست، معادل فشار اتمسفر می‌شود.

ارتباط بالادست را با اتمسفر قطع و آن را با هوا، تحت فشار آزمون قرار دهید. سپس شیر منبع تغذیه هوا را ببندید. فشار هوا را نباید بیش از حد آزمون، زیاد کرد، زیرا ممکن است منجر به باز شدن روزنه‌های کوچک‌تر

1- Diffusion
2- Defect
3- Back pressure

از حد (طبق بند ۸-۳) شده و PDT بالاتری را نشان دهد. این فشار را به عنوان فشار حداکثر آزمون ($P_{test,max}$) ثبت کنید.



شکل ۲- نحوه اتصالات در آزمون VDT

بعد از گذشت مدتی که نرخ افت فشار، پایدار شد فشار اولیه، P_i را ثبت و زمان سنجی را شروع کنید.^۱

بعد از گذشت مدت زمان حداقل ۲ دقیقه، فشار نهایی، P_f و مدت زمانی را که برای افت فشار از P_i تا P_f (t) طول کشیده، ثبت کنید. در صورتی که نرخ افت فشار کند باشد، می توان زمان را برای رسیدن به دقت بیشتر افزایش داد.^۲

نرخ افت فشار را به صورت زیر محاسبه نموده و نتیجه را به همراه شرایط آزمون (دما، فشار متوسط آزمون، $P_{test,ave}$ و فشار حداکثر $P_{test,max}$) ثبت نمایید.

(۱)

$$PDR_{measured} = \frac{P_i - P_f}{t}$$

که در آن:

$PDR_{measured}$ نرخ افت فشار اندازه گیری شده، بر حسب kPa/min در فشار متوسط آزمون و

$$P_{test,ave} = (P_i + P_f) / 2$$

۱- در ابتدای آزمون به دلیل جابه جایی مقداری از مایعات در دیواره غشاء زمان رسیدن به نرخ ثابت کاهش فشار معمولاً زیاد و در سامانه های مختلف متفاوت است و ممکن است تا ۳ دقیقه نیز طول بکشد.

۲- با توجه به کاهش غیرخطی فشار در طول زمان، برای انجام ساده سازی معادلات به صورت درجه ی اول، زمان بیشینه به گونه ای خواهد بود، که P_f بیش از ۱۰ درصد کمتر از P_i نباشد.

P_i فشار اولیه، kPa؛

P_f فشار نهایی، kPa؛

t مدت زمانی که برای افت فشار از P_i تا P_f طول می کشد، برحسب min و

$P_{test,max}$ حداکثر فشاری است که در ابتدای آزمون اعمال می شود، برحسب kPa.

نرخ افت فشار (PDR) می تواند ناشی از نفوذ از غشاء، نشتی از نقص ها و آسیب های ایجاد شده در غشاء و یا آب بندها باشد. مؤلفه نفوذ جریان هوا ربطی به یکپارچگی غشاء ندارد. بنابراین با تعیین جریان نفوذی و کسر آن از جریان اندازه گیری شده، می توان زوال فشار غیر نفوذی را با دقت بیشتری برآورد نمود. مؤلفه نفوذ را می توان با هر دو روش محاسباتی و یا اندازه گیری های آزمایشگاهی، مانند اندازه گیری PDR بر روی سامانه ای که یکپارچگی آن از طرق دیگر به تأیید رسیده است، برآورد نمود. در چنین حالتی PDR اندازه گیری شده به صورت زیر اصلاح می شود:

(۲)

$$PDR_{corrected} = PDR_{measured} - PDR_{diffusion}$$

که در آن:

$PDR_{diffusion}$ برابر است با $PDR_{measured}$ برای سامانه سالم در فشار و دمای آزمون.

در بسیاری از موارد عملی می توان با این فرض محافظه کارانه که کل زوال فشار ناشی از نشت است،

($PDR_{diffusion} = 0$) به نتایج قابل قبولی دست یافت.

۸-۲ آزمون زوال خلأ (VDT)

در این آزمون هر دو طرف غشا در معرض هوا قرار دارد. قبل از انجام آزمون، سامانه باید تا خیس شدن کامل غشاء در فشار متعارف خود، کار کند. مراحل انجام آزمون زوال خلأ عبارتند از:

مایع را از سمت تغذیه غشاء (که در اینجا سمت بالادست نامیده می شود) تخلیه کنید و سمت بالادست را در معرض فشار اتمسفر قرار دهید. در واحدهای غشائی که به صورت افقی نصب می شوند، مبادی تغذیه و تخلیه باید در بخش تحتانی محفظه غشاء تعبیه شوند.

تجهیزات لازم، شامل یک فشارسنج خلأ، یک شیر قطع و وصل، یک تله آب که در خلأ تغییری ایجاد نمی کند و یک پمپ خلأ که به خط اصلی جریان تراویده وصل شده و برای یک یا چند واحد غشاء مورد استفاده قرار می گیرد را مطابق شکل ۲ به هم متصل کنید. نصب یک شیر قطع و وصل دیگر (B) بر روی لوله آب تراویده موجب سهولت اتصال تجهیزات، بدون ایجاد وقفه در کارکرد سامانه غشائی می شود.

شیرهای A و B را باز کرده و پمپ خلأ را روشن نمایید تا سمت آب تراویده تخلیه شده و فشارسنج خلأ پایداری را نشان دهد. آب خارج شده در این مرحله در تله آب جمع می شود. شیر A را ببندید. زمان سنج را فعال و خلأ اولیه (P_i) را ثبت کنید. خلأ مناسب برای آزمون را می توان با استفاده از توصیه های ارائه شده در بند ۸-۳ انتخاب نمود.

بعد از گذشت زمان مشخص (مدت زمان معمول برای این آزمون ۶۰ ثانیه است و برای آزمون های حساس تر زمان های ۱۲۰، ۱۸۰ و ۳۰۰ ثانیه مناسب است)، فشار نهایی (P_f) و مدت زمان رسیدن به آن را ثبت کنید.

نرخ زوال خلأ (VDR) را به صورت زیر محاسبه نمایید:

(۴)

$$VDR_{measured} = \frac{P_i - P_f}{t}$$

که در آن:

$VDR_{measured} = \frac{P_i - P_f}{t}$ ، نرخ افت خلأ اندازه گیری شده، برحسب kPa/min در فشار متوسط آزمون،

$$P_{test,ave} = (P_i + P_f) / 2$$

P_i خلأ اولیه، kPa؛

P_f خلأ نهایی، kPa؛

t مدت زمانی که برای افت خلأ از P_i تا P_f طول می کشد، دقیقه؛

$P_{test,max}$ حداکثر خلأ است که در ابتدای آزمون اعمال می شود، kPa.

نرخ زوال خلأ (VDR)، می تواند ناشی از نفوذ از غشاء، نشتی از نقص ها و آسیب های ایجاد شده در غشاء و یا آب بندها باشد. مؤلفه نفوذ جریان هوا ربطی به یکپارچگی غشاء ندارد. بنابراین با تعیین جریان نفوذی و کسر آن از جریان اندازه گیری شده می توان افت خلأ غیر نفوذی را با دقت بیشتری برآورد نمود. مؤلفه نفوذ را می توان با هر دو روش محاسباتی و یا اندازه گیری های آزمایشگاهی، مانند اندازه گیری VDR بر روی سامانه- ای که یکپارچگی آن از سایر روش ها به تایید رسیده است، برآورد نمود. در چنین حالتی VDR اندازه گیری- شده به صورت زیر اصلاح می شود:

(۵)

$$VDR_{corrected} = VDR_{measured} - VDR_{diffusion}$$

که در آن:

$VDR_{diffusion}$ برای سامانه سالم در فشار و دمای آزمون با $VDR_{measured}$ برابر است. و در صورتی که $VDR_{diffusion}$ نامعلوم باشد، به عنوان روش محافظه کارانه می توان $VDR_{diffusion}=0$ لحاظ کرد.

۳-۸ انتخاب فشار آزمون

فشار آزمون انتخاب شده، حداقل قطر معادل نقصی^۱ را تعیین می کند که می تواند در نرخ زوال خلأ یا فشار نقش داشته باشد. رابطه بین قطر معادل نقص و فشار آزمون در فرمول شماره ۵ ارائه شده است. نقص های با قطر کوچک تر، توانایی غلبه بر نقطه حباب را نداشته و از این رو بر میزان جریان هوا تأثیر ندارند. نقص های بزرگ تری که فشار اعمال شده آزمون از نقطه حباب آن ها بیشتر باشد در ایجاد جریان هوا نقش دارند. برای جزئیات بیشتر در خصوص نحوه به دست آمدن این فرمول و کاربرد آن در تعیین اندازه حداکثر روزه های غشا، می توان به استاندارد بین المللی ASTM-E128 مراجعه کرد.

(۶)

$$d = \frac{4\gamma \cos\theta}{\Delta P_{test,max}}$$

که در آن:

$\Delta P_{test,max}$ حداکثر اختلاف فشار آزمون اعمال شده به طرفین غشاء است. این مقدار همان $P_{test,max}$ ثبت شده در حین آزمون است که برای هر ارتفاع استاتیکی، اصلاح می شود (kPa)؛

γ کشش سطحی در سطح مشترک هوا- مایع (N/m)؛

θ زاویه تماس مایع- غشا؛

d قطر معادل کوچک ترین نقصی می باشد که در این آزمون لحاظ شده است (mm).

برای غشای کاملاً آب دوست^۲، زاویه تماس به طور نظری برابر با صفر است، فرمول ۵ با فرض دمای آب ۲۵ درجه سلسیوس (کشش سطحی ۷۲ dynes/cm)، به صورت فرمول ۶ ساده سازی می شود که در آن d بر حسب میکرون و $P_{test,max}$ کیلو پاسکال می باشد:

(۷)

$$d = \frac{288}{\Delta P_{test,max}}$$

1- Minimum equivalent diameter of a defect

2- Hydrophilic

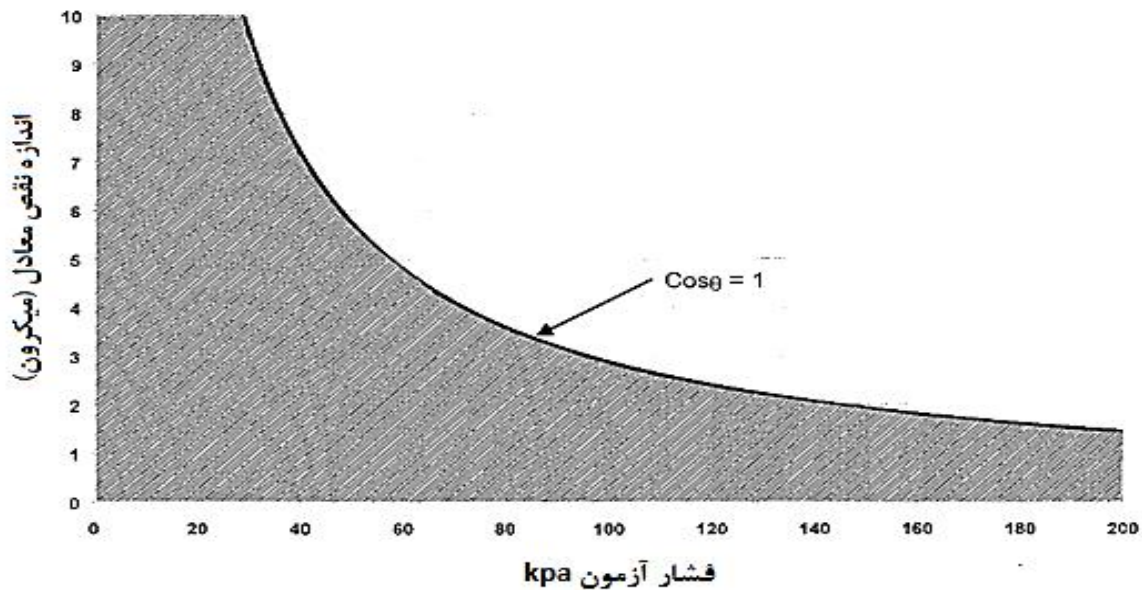
شکل ۳ رابطه بین فشار آزمون و قطر نقص معادل را بر اساس فرمول ۵ و با فرض کشش سطحی معادل 72 dynes/cm نشان می‌دهد. خط پر^۱ نشان‌دهنده فرمول ۶ با شرایط محافظه کارانه $\cos\theta=1$ می‌باشد. در عمل، بسیاری از غشاءهای مورد استفاده برای تصفیه آب زاویه تماسی بزرگ‌تر از صفر دارند که در شکل ۳ در زیرخط پر و به صورت هاشور زده نشان داده شده است. در صورتی که زاویه تماس معلوم یا قابل تعیین باشد، استفاده از فرمول شماره ۵ امکان‌پذیر است. چنانچه زاویه تماس نامعلوم باشد، فشار آزمون مورد نیاز را می‌توان با برآورد محافظه کارانه، از فرمول ۶ به دست آورد.

فشار آزمون معمولاً به گونه‌ای انتخاب می‌شود که اطمینان حاصل شود که حداقل قطر نقص‌های به دست آمده از آزمون کوچک‌تر از ذرات و آلودگی‌های مدنظر باشد. برای مثال فرمول ۶، نشان می‌دهد که تمامی نقص‌هایی در اندازه بزرگ‌تر یا مساوی با ۳ میکرون، در فشار آزمون 100 kPa دربر گرفته شده است. برای غشاهایی با آب‌دوستی کمتر می‌توان از فشارهای پایین‌تر استفاده نمود. برای مثال در صورتی که زاویه تماس برابر با ۶۰ درجه (مقدار معمول برای پلی‌پروپیلن، پلی‌سولفون، یا $(\text{PVdF})^2$) باشد فرمول ۵، نشان می‌دهد که نقص‌هایی در اندازه ۳ میکرون، در فشار آزمون 50 kPa دربر گرفته شده است. برای نقص‌های بزرگ‌تر مانند فیبرهای شکسته در یک سامانه فیبر توخالی، می‌توان از فشارهای کمتر استفاده نمود.

در عمل، فشار آزمون به ندرت از 300 kPa بالاتر می‌رود. این فشار، برای تعیین نقص‌های کوچک‌تر از اغلب ذرات بیماری‌زای مورد نظر کافی است. این حد فشار، برای آزمون کنترل صحت حذف ویروس مناسب نیست. زیرا این ذرات، بسیار ریز (معمولاً کوچک‌تر از $0.1 \mu\text{m}$) هستند و فشار آزمون لازم برای آن چندین هزار کیلو پاسکال است.

1- Solid line

2- Poly Vinildene Fluoride



یادآوری: خط تیره نشان دهنده فرمول ۶ می باشد

شکل ۳- رابطه بین فشار آزمون و قطر نقص معادل (فرمول ۱، در دمای آب ۲۵ درجه)

۴-۸ تفسیر نتایج PDR و VDR به صورت مقادیر لگاریتم کاهش

میزان PDR و VDR، در واقع اندازه گیری عبور جریان هوا از یک طرف غشاء به طرف دیگر آن، تحت مجموعه ای از شرایط آزمون (دما و فشار) هستند. این اطلاعات را می توان به منظور برآورد جریان مایع از میان نقص های مشابه در شرایط فیلتراسیون به کار برد که برآوردی از جریان نشتی غشاء و در نتیجه تخمینی از لگاریتم حذف ذرات توسط سامانه را فراهم می کند. بر اساس قانون هاگن- پویسل^۱ جریان در نقص های استوانه ای، لایه ای در نظر گرفته می شود. در عین حال این روش تخمین مفیدی ارائه می کند، که کاربرد آن محدود به فیبرهای کوچک است (قطر معادل کوچک تر از $400 \mu\text{m}$) و در آن ها معیار جریان لایه ای با تقریب بسیار مناسبی تعیین می شود. این روش در بند ۸-۴-۱ ارائه شده و نحوه محاسبه آن با جزئیات به همراه فرضیات مورد نیاز در پیوست اطلاعاتی الف این استاندارد آمده است. روش جایگزین، اندازه گیری آزمایشگاهی رابطه بین جریان های مایع و هوا برای بدترین حالت خرابی است. این حالت می تواند مربوط به یک فیبر شکسته درون محفظه بسیاری از سامانه های فیبر توخالی MF یا UF باشد. در این روش که در بند ۸-۴-۲ شرح داده شده است، فرض می شود که تمامی جریان گاز اندازه گیری شده ناشی از خرابی ها در بدترین حالت بوده و بدین ترتیب تخمین محافظه کارانه ای از جریان نشتی و LRV سامانه ارائه می شود. علی رغم سوابق عملی این روش، هنوز داده هایی که بتواند محدوده ای از پیکربندی های مختلف غشاء، شرایط

1- Hagen - Poiseuille

آزمون و قطر فیبرها را پوشش دهد، موجود نمی‌باشد. بدون در نظر گرفتن روش انتخاب‌شده، رابطه بین نتایج آزمون یکپارچگی غشا و LRV باید برای هر غشا و پیکربندی مورد استفاده، از طریق آزمون در محل تأیید شود.

۸-۴-۱ روش جریان لایه‌ای با استفاده از قانون هاگن - پویسل (H-P)

در این روش، فرض می‌شود که روند جریان عبوری از میان نقص‌های استوانه‌ای، لایه‌ای است و عمدتاً برای فیبرهای با قطر کوچک (قطر داخلی ۲۰۰ تا ۴۰۰ میکرون) مناسب است. نحوه استخراج فرمول مربوطه با جزئیات کامل به همراه فرضیات کلیدی در پیوست اطلاعاتی الف ذکر شده است. فرمول‌های مورد نیاز برای تبدیل نتایج PDR و VDR به عدد لوگ کاهش، با استفاده از روش شرح داده‌شده در این استاندارد به ترتیب در فرمول‌های ۷ و ۸ ارائه شده‌اند.

برای PDR:

(۸)

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{Q_{filt} P_{atm}}{CF.PDT.V_{system}} f_1 f_2 \right)$$

برای VDR:

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{Q_{filt} P_{atm}}{CF.VDT.V_{system}} f_1 f_2 \right) \quad (۳)$$

که در آن:

f_1 ضریب تصحیح گرانی بوده و برابر است با μ_{water} / μ_{air} ؛

f_2 : ضریب تصحیح فشار بوده و برابر است با $f_2 = \frac{P_{u,test}^2 - P_{d,test}^2}{2P_{atm} TMP}$ ؛

Q_{filt} نرخ جریان فیلتر شده بر حسب (m^3/s) ؛

$P_{u,test}$ فشار بالادستی در هنگام آزمون PDT یا VDT معادل $P_{test,ave}$ برای PDT و P_{atm} برای VDT (kPa مطلق)؛

$P_{d,test}$ فشار پایین‌دست در هنگام آزمون PDT یا VDT معادل P_{atm} برای PDT و $P_{test,ave}$ برای VDT (kPa مطلق)؛

P_{atm} فشار اتمسفر (kPa مطلق).

ضریب تغلیظ در این رابطه CF است، این ضریب نشان‌دهنده افزایش غلظت آلاینده در سمت بالادست غشاء نسبت به غلظت آن در آب خوراک است که می‌تواند به دلیل حالت بهره‌برداری رخ دهد. این ضریب معمولاً برای سامانه‌های بن‌بست^۱ برابر با یک است. لیکن برای جریان متقاطع یا حالت‌های خوراک‌دهی و تخلیه^۲ می‌تواند مقادیر بیشتری نیز داشته باشد.

PDR نرخ زوال فشار (kPa/s)؛

VDR نرخ زوال خلأ (kPa/s)؛

TMP فشار داخلی غشا در هنگام آزمون (kPa)؛

V_{system} حجمی که در طول آزمون، تحت فشار (یا خلأ) قرار می‌گیرد (m^3)؛

μ_{water} گرانروی مایع در هنگام آزمون (Pas)؛

μ_{air} گرانروی هوا در هنگام آزمون (Pas)؛

LRV_d عدد تخمین زده‌شده برای لوگ کاهش می‌باشند.

۸-۴-۲ روش تعیین ارتباط نتایج آزمون و LRV سامانه با استفاده از تعداد معادل فیبرهای شکسته

این روش بر اساس اندازه‌گیری رابطه بین جریان گاز و نشتی برای بدترین مورد نقص در سامانه‌های فیبر توخالی استوار است، که در آن فرض می‌شود تمام جریان نشتی از طریق چنین نقص‌هایی صورت می‌پذیرد. این روش، برآورد محافظه‌کارانه‌ای از LRV به‌دست می‌دهد، که می‌تواند برای اغلب قطره‌های غشاء و پیکربندی‌های آن به‌کار رود. برای سامانه‌های غشایی فیبر توخالی بدترین حالت شکست معمولاً حالتی خواهد بود، که در آن یک فیبر دقیقاً در محل سطح مشترک فیبر-صفحه نگهدارنده^۳ بریده شود. در این حالت، کوتاه‌ترین مسیر جریان نشتی و بزرگ‌ترین قطر ممکن نقص ایجاد می‌شود. مراحل کار به شرح زیر است:

الف - جریان گاز از داخل یک تک‌فیبر که از محل اتصال به صفحه نگهدارنده^۴ بریده‌شده باشد را در فشار آزمون مشخص تعیین نمایید (این جریان را $Q_{G,atm,fiber}$ بنامید). بهتر است این کار با آزمون در محل با استفاده از یک یا چند مدول با مقیاس کامل و یا در آزمایشگاه با استفاده از فیبر و مصالح نگهدارنده همان غشاء انجام گیرد.

1- Dead end
2- Feed and Bleed
3- Fiber-Pot
4- Pot

ب- برای همان پیکربندی، مقدار جریان از داخل نقص ($Q_{G, fiber}$) را در محدوده‌ای از فشارها تعیین کنید تا بتوان منحنی جریان نشتی برحسب فشار آزمایش (TMP)^۱ را برای یک فیبر واحد رسم نمود. این کار را از طریق آزمون بر روی طول کوتاهی از غشاء فیبری در آزمایشگاه، یا محاسبات نظری همراه با تعیین تجربی ضریب زبری (برای جریان آشفته)، انجام دهید.

همچنین LRV سامانه را به صورت زیر ارزیابی کنید:

گام اول- مقدار PDR (VDR) را برای سامانه اندازه‌گیری کنید. جریان گاز را به وسیله فرمول ۹ (برای PDT) یا ۱۰ (برای VDT) محاسبه کنید. توجه نمایید که این فرمول‌ها از روابط (الف-۴) و (الف-۵) در پیوست (الف) استخراج شده‌اند.

(۹)

$$Q_{G, atm} = PDR \frac{V_{system}}{P_{atm}}$$

(۱۰)

$$Q_{G, atm} = PDR \frac{V_{system}}{P_{atm}}$$

گام دوم- تعداد معادل فیبرهای شکسته برای سامانه را به صورت زیر محاسبه کنید:

(۱۱)

$$N_{equivalent} = \frac{Q_{G, atm}}{Q_{G, atm, fiber}}$$

گام سوم- جریان نشتی مایع (Q_{bypass}) را با ضرب تعداد معادل فیبرهای شکسته در جریان نشتی هر فیبر در TMP بهره‌برداری (از داده‌های به دست آمده از گام دوم) محاسبه کنید:

(۱۲)

$$Q_{bypass} = N_{equivalent} \times Q_{L, fibr}$$

فرمول ۹ را برای هر فیبر می‌توان به صورت $Q_{G, atm, fiber} = PDR_{fiber} V_{system} / P_{atm}$ نوشت، که در آن PDR_{fiber} نرخ افت فشار متناظر با $Q_{G, atm, fiber}$ می‌باشد. ترکیب فرمول‌های ۱۱ و ۱۲ به صورت زیر خواهد بود:

1- Transmembrane Pressure

(۱۳)

$$Q_{bypass} = \frac{PDR_{corrected}}{PDR_{fiber}} \cdot Q_{L,fiber}$$

پ- LRV را با استفاده از فرمول ۱۴ (و نیز فرمول (الف-۲) پیوست الف) محاسبه کنید:

(۱۴)

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{Q_{filt}}{Q_{bypass}} \right)$$

با جایگذاری فرمول ۱۳ در فرمول ۱۴ خواهیم داشت:

(۱۵)

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{PDR_{fiber} \cdot Q_{filt}}{PDR_{corrected} \cdot Q_{L,fiber}} \right)$$

به طور مشابه برای VDT داریم:

(۱۶)

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{VDR_{fiber} \cdot Q_{filt}}{VDR_{corrected} \cdot Q_{L,fiber}} \right)$$

مقادیر $Q_{G,atm,fiber}$ و $Q_{L,fiber}$ را می‌توان با استفاده از روابط متداول هیدرولیکی (مانند معادلات دارسی- ویسباخ) با منظور کردن افت ورود و خروج محاسبه نمود. در شرایط جریان غیر لایه‌ای، حل این روابط با تعیین تجربی مقادیر زبری سطح و از طریق سعی و خطا انجام می‌شود. در صورت استفاده از روش نظری برای محاسبه $Q_{L,fiber}$ ، باید به هر دو جریان از انتهای آزاد فیبر بریده شده و از صفحه نگهدارنده توجه کرد. هر چند که در اغلب موارد مقدار جریان از انتهای آزاد فیبر در مقایسه با جریان از صفحه نگهدارنده کوچک می‌باشد.

۹ روش ب- استفاده از آنالیزورهای کل کربن آلی^۱ برای پایش یکپارچگی سامانه‌های غشائی
اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون

۱-۹ دامنه کاربرد

این روش در حالتی قابل استفاده است که سامانه غشایی و منبع آب قابلیت پایش TOC در بالادست و پایین دست را داشته باشند و حداقل بزرگی اختلاف با آب تغذیه را بتوان در آب تراویده (محصول) اندازه گیری نمود. به روش استاندارد ASTM D4839 مراجعه شود.

۲-۹ اصول روش

۱-۲-۹ خلاصه آنالیز کربن

آنالیز TOC شامل دو فرآیند است. ابتدا کربن محلول اکسید شده و به CO₂ تبدیل می شود و سپس غلظت CO₂ تعیین و نتیجه با استفاده از یک منحنی کالیبراسیون خاص تفسیر می گردد. برای جلوگیری از تداخل با کربن معدنی (کربنات، بیکربنات و دی اکسید کربن محلول) نمونه به دو جریان مختلف تقسیم می شود. هر دو جریان اسیدزنی می شوند تا کربن معدنی (IC) به CO₂ تبدیل شود. یکی از جریان ها مورد فرآوری بیشتر قرار می گیرد تا کربن آلی نیز اکسید شده و به CO₂ تبدیل شود. نمونه ها به دو ردیاب^۱ CO₂ جداگانه (یکی برای IC و دیگری برای کربن کل، TC) فرستاده می شوند. مقدار TOC تفاوت بین نتایج TC و IC است. در دستورالعمل های استاندارد ASTM D5173 و ASTM D5997 توصیف کاملی از روش های مختلف مورد استفاده برای انجام پایش برخط ترکیبات کربن در آب ارائه شده است. ابزارهای مورد استفاده در این روش ها برای آنالیز نمونه حدوداً به شش دقیقه زمان نیاز دارند.

۲-۲-۹ نمونه برداری از جریان تراویده

استاندارد ASTM D3370 روش های مربوط به نمونه گیری آب از مجاری بسته را توصیف می کند. یک جریان فرعی از خط تراویده به آنالیزور TOC فرستاده می شود. طول این خط تا حد امکان باید کوتاه باشد. بسیاری از آنالیزورها در حین آنالیز دارای یک چرخه شستشو با جریان سریع بین نمونه ها و جریان نشستی هستند که به زهکش (drain) تخلیه می شود. حجم نمونه در مقایسه با جریان نشستی بسیار اندک است (به عنوان مثال ۰.۳۵ ml/min در مقابل ۳۰ تا ۲۲۰ ml/min برای جریان شستشو).

۳-۲-۹ تعیین داده های مبنا

پس از شروع به کار و تثبیت سامانه، جریان های خوراک، تراویده و تغلیظ شده از نظر غلظت TOC آنالیز می شوند. در صورتی که ابزار مورد استفاده بتواند در محدوده مختلف غلظت ها، با نمودارهای کالیبراسیون مختلف کار کند، بهتر است از همان ابزار برای پایش یکپارچگی غشاء استفاده شود. از این ابزار می توان در نمونه برداری های تکی به صورت برون خط (offline) استفاده نمود. برای اطمینان از پر شدن خطوط نمونه برداری، تکرار آنالیز نمونه ها به تعداد کافی بسیار مهم است. با آزمون بر روی نمونه تراویده در ابتدا، این کار آسان تر می شود. اندازه نمونه باید به مقدار کافی بزرگ باشد تا تغییرات معمول ناشی از دما و زمان را منعکس نماید.

1 - CO2 Detectors

۹-۲-۳-۱ نمونه‌گیری از جریان تغلیظ‌شده: جریان تغلیظ‌شده برای تعیین موازنه جرمی سامانه مورد آزمون قرار می‌گیرد. احتمال جذب کربن آلی روی سطح غشا وجود دارد. در این صورت ممکن است در اثر رسیدن به نقطه شکست^۱ بعد از اشغال شدن تمامی مکان‌های جذب سطحی، یک پایه جریان تراویده جدید لازم شود.

۹-۲-۳-۲ پایش TOC: برای آنالیزورهای TOC مورد استفاده مطابق دستورالعمل خاص آن عمل نمایید. مطمئن شوید که برق روشن، مواد شیمیایی تازه، پیش فیلترها تمیز بوده و منابع اشعه فرابنفش (UV)^۲ یا مادون قرمز (IR)^۳ به خوبی کار کنند. با داده‌های خروجی آنالیزور آشنا شوید. آنالیزور باید زمان، نحوه هشدار، علت هشدار و اعلام تغییر شرایط را آنالیز و توصیفی از شرایط جدید را در اختیار تان قرار دهد. غلظت TOC جریان تراویده را در یک نمودار که در غلظت‌های پایه تراویده و خوراک علامت‌گذاری شده است، ببینید.

۹-۲-۳-۳ نقطه تصمیم^۴: باید برای هر فرآیند خاص، با توجه به مقدار ریسک مترتب بر آسیب‌دیدگی غشاء، یک نقطه تصمیم تعیین نمایید.

۹-۲-۳-۴ تغییرپذیری: نوسانات فرآیند شامل دما، تغییرات در کارتریج‌های مواد شیمیایی، گرفتگی پیش تصفیه ورودی و تغییرات جریان در آنالیزور، می‌تواند بر تحلیل TOC تأثیر گذارد. میزان تغییرپذیری به نوع فرآیند و نحوه عملکرد آنالیزور وابسته است. نقطه تصمیم نباید بر اساس تغییرپذیری معمول فرآیند فرا برسد.

۹-۳ اهمیت^۵ و کاربرد

پایش TOC زمانی می‌تواند مؤثر باشد که تفاوت بین غلظت متوسط TOC در جریان خوراک و محصول حداقل به میزان یک درجه بزرگی^۶ باشد. پایش TOC به عنوان یک ابزار پایش یکپارچگی غشاء، برای شناسایی تغییرات نسبی در یکپارچگی سامانه استفاده می‌شود. حساسیت این روش به موارد زیر بستگی دارد:

۹-۳-۱ ظرفیت تجهیزات اندازه‌گیری TOC

۹-۳-۲ اندازه سامانه که با دبی جریان تراویده اندازه‌گیری می‌شود و

۹-۳-۳ تغییرات غلظت TOC در جریان تراویده که ناشی از نشت مؤثر باشد.

1- Break-Through
 2- Ultra Violet
 3 - Infrared
 4- Decision Point
 5- Significance
 6- Order of Magnitude

آنالیزورهای TOC تحت تأثیر شرایط گفته شده در زیر قرار می گیرند. در مورد تداخل ویژه برای هر آنالیزور خاص باید با سازنده آن تماس گرفت. سطح پایه TOC در جریان تراویده باید در محدوده حساسیت ابزار مورد استفاده باشد که کماکان به طور قابل ملاحظه ای با چالش یا متوسط غلظت در جریان خوراک به اندازه یک درجه بزرگی تفاوت دارد.

اندازه سامانه ای که با یک نقطه نمونه برداری پایش می شود، باید بر اساس تحلیل نسبت ریسک به هزینه تعیین شود. ریسک به معنی امکان بروز آسیب در سامانه دارای نشتی است و هزینه شامل قیمت ایجاد نقاط نمونه برداری یا تهیه یک آنالیزور دیگر می باشد.

تغییرات غلظت TOC مربوط به نشت مؤثر در جریان تراویده (همان گونه که در شاخص ریسک به هزینه بیان شده)، بستگی به حجم جریان تراویده به وسیله یک غشاء تازه (دست نخورده) در واحد پایش شده دارد.

وقتی که اندازه یک واحد مجزا را برای آزمون تعیین می نمایید، تغییرات TOC مورد انتظار ناشی از نشت که باید به عنوان نشت زمینه (مقدار اولیه) منظور شود را لحاظ نمایید. مقدار تغییر باید بیشتر از ۳ برابر انحراف معیار از غلظت متوسط اندازه گیری شده سامانه باشد. شکل ۴ تغییرات غلظت TOC در جریان RO با انواع آسیب دیدگی را نشان می دهد. غلظت TOC در جریان های خوراک و تغلیظ شده به ترتیب حدوداً ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر بوده است.

۴-۹ تداخلها

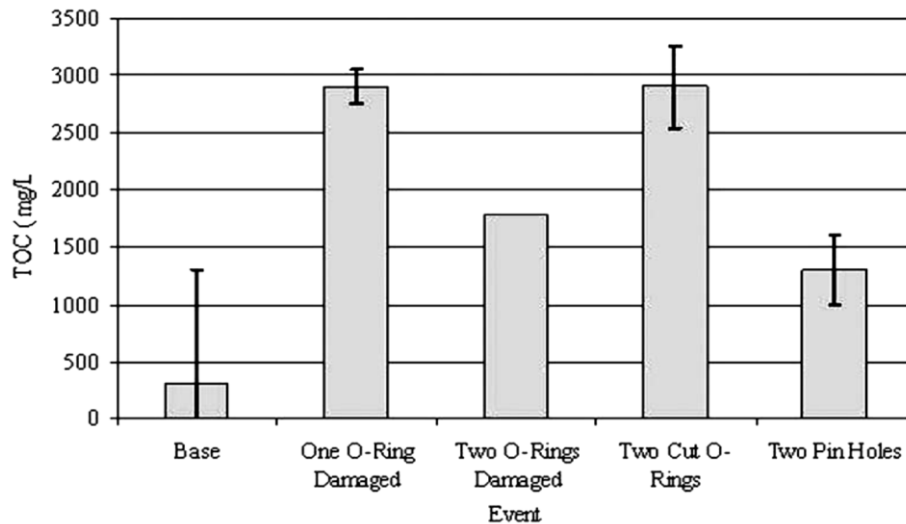
۴-۹-۱ تغییر در غلظت کربن معدنی: بی ثباتی در پیش فراوری اسیدی کردن، می تواند نوساناتی در غلظت کربن معدنی جریان تراویده ایجاد کند. اگر تعدیل لازم در فرآیند اسیدی کردن جهت مهار غلظت کربن معدنی (IC) اضافی صورت نگیرد، نتایج TOC بالا خواهد بود.

۴-۹-۲ تغییر در هدایت زمینه: تغییر در هدایت زمینه موجب اختلال در مقایسه هدایت ناشی از CO₂ با منحنی کالیبراسیون می گردد. از آنجایی که آنالیزورهای TOC بسیار حساس تر از حسگرهای هدایت الکتریکی می باشند، اشکال در یکپارچگی سامانه باید نخست با افزایش غلظت TOC و پیش از ایجاد تغییر ملموس در هدایت جریان تراویده ردیابی شود^۱.

۴-۹-۳ ذرات: ذرات معلق در جریان آب ممکن است به مرور زمان موجب گرفتگی در پایشگر گردد.

1-Inorganic Carbon

2- Chapman, M. W., Linton, K., "Evaluation of Integrity Monitoring Methods for Reverse Osmosis Membrane Systems," 4/2000, USBR-DWPR Report #55. Available from S. Martella, USBR M.S. D-8230, P.O. Box 25007, Denver, CO 80225-0007.



غلظت TOC در زمان آسیب دیدگی. TOC به طور قابل اطمینانی آسیب را شناسایی می کند. شدت آسیب دیدگی (B) از یک نمونه برداشت شده است.

یادآوری- ستون های خطا ۳ انحراف استاندارد از متوسط را نشان می دهد (Chapman and Linton)

شکل ۴- تغییر در غلظت TOC در انواع مختلف آسیب

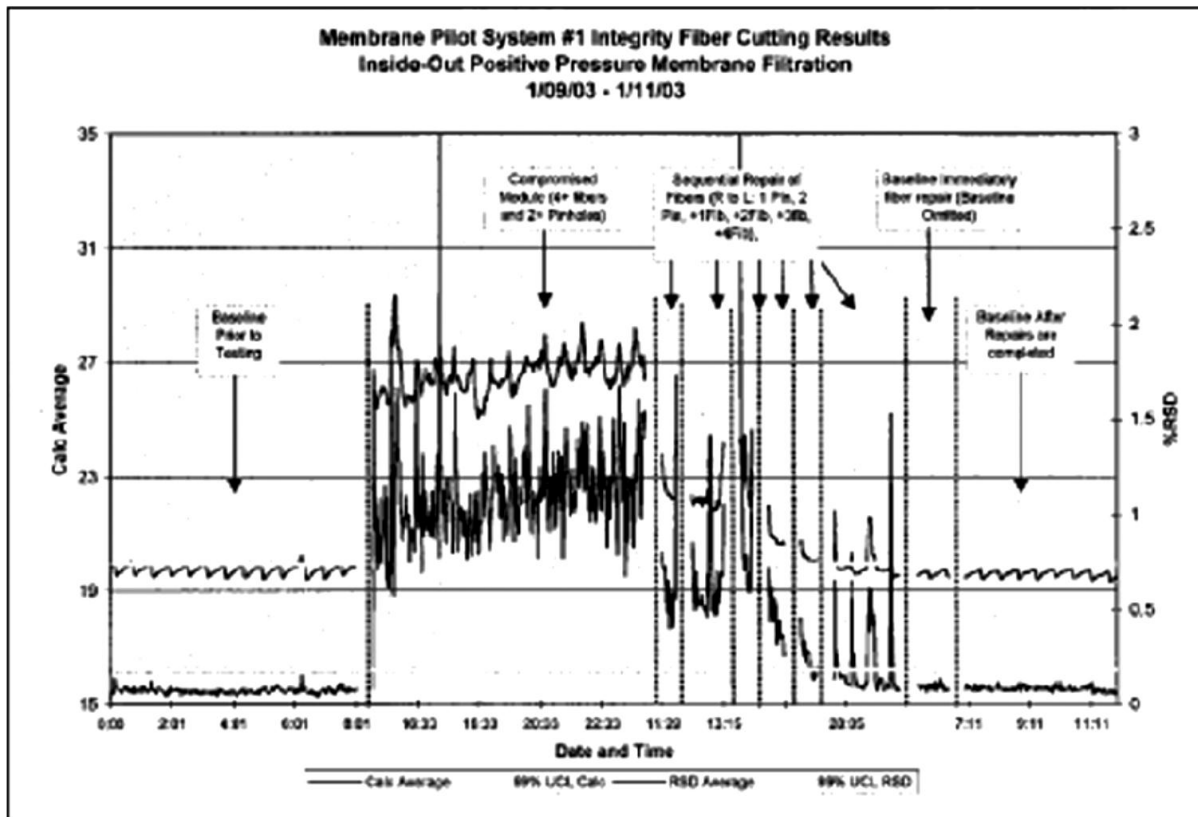
۵-۹ دستگاه

نمودارهای جعبه ای تعدادی از طرح های برخط آنالیزورهای TOC که تاکنون به صورت موفق مورد استفاده قرار گرفته اند در استاندارد شماره ASTM D5173 آمده است.

۶-۹ تفسیر نتایج

نمودار غلظت TOC جریان های تراویده و خوراک (یا متوسط خوراک و تغلیظ شده) باید نسبت به زمان رسم شود. استفاده از غلظت خوراک، روش محافظه کارانه تری را فراهم نموده و فرآیند را ساده سازی می کند.

بعد از شروع کار سامانه و تثبیت آن، انحراف استاندارد غلظت TOC جریان تراویده خوراک را محاسبه کنید. اگر غلظت تراویده بیشتر از سه انحراف استاندارد از مقدار متوسط فاصله داشت، سامانه را برای تعیین علت آن کنترل کنید (به شکل ۵ مراجعه شود).



شکل ۵- نمودار پایش فرایند در یک مطالعه برش فیبر حدود کنترل بالا به همراه داده‌های پایشی

۱۰ روش ج-آزمون مواد رنگی محلول

۱-۱۰ دامنه کاربرد

این استاندارد، برای سامانه‌های غشائی NF و RO با پیکربندی‌هایی مانند مارپیچی، لوله‌ای یا صفحه تخت کاربرد دارد.

هشدار- این استاندارد نحوه استفاده از دو ماده رنگی محلول به نام‌های رنگ قرمز شماره ۴۰^۱ و رودامین دلیو- تی^۲ را توصیف می‌کند. هر دو ماده رنگی وزن مولکولی تقریباً برابر با ۵۰۰ دارند. به روش استاندارد D3923 ASTM مراجعه شود.

۱۰-۲ اصول روش

این روش بر پایه عبور یک ماده رنگی محلول که تقریباً به‌طور کامل توسط یک غشاء سالم دفع می‌شود، از بخش آسیب‌دیده غشاء یا قسمت‌های آب‌بندی آن به سمت جریان تراویده به میزانی که نشان‌دهنده نشتی زیاد با قابلیت عبور مقدار قابل توجهی از مواد میکروبی باشد، استوار است.

1- Red Dye #40
2 - Rhodamine Wt

ماده رنگی محلول با غلظت کنترل شده که در یک نرخ ۹۹٪ یا بیشتر (بیشتر یا مساوی $2 \log$) به وسیله غشاء دفع می شود، تحت شرایط بهره برداری استاندارد توصیه شده توسط سازنده در سامانه به گردش درمی آید. غلظت ماده رنگی در جریان های تراویده و خوراک اندازه گیری می شود. برای این کار از دستگاه طیف سنجی برای مواد رنگی که نور را در حد بالا در طول موج مشخص جذب می نمایند و یا با یک فلورومتر^۱ برای مواد رنگی فلورسنت که در یک طول موج مشخص نور را جذب و در طول موج دیگری آن را دفع می نمایند، استفاده می گردد. نشت یا عدم یکپارچگی غشا با افزایش عبور ماده رنگی که با اندازه گیری افزایش درصد بحرانی در غلظت جریان تراویده مشخص می شود، نمایان خواهد شد. چون تهیه کننده غشاء یا سامانه، ممکن است مشخصه خاصی برای ماده رنگی عبوری که حاکی از فقدان یکپارچگی است را مدنظر داشته باشد، با تهیه کننده مشورت نمایید. برای سامانه های RO که بارنگ قرمز #۴۰ (FD&Red Dye #40) داشته آزمون می شوند، عبور بیش از ۰/۲٪ از غلظت خوراک نشان دهنده فقدان یکپارچگی می باشد^۲. به طور متناوب LRV را از مقادیر ماده رنگی در جریان های خوراک و تراویده محاسبه کنید (مطابق زیربند ۱۰-۶) تا از حذف دلخواه اطمینان حاصل کنید اتصالات لوله کشی و ملاحظات بهره برداری باید به گونه ای باشد که سامانه بتواند در حالت باز چرخش به مدت ۳۰ دقیقه کار کند، یا در صورتی که تزریق محلول رنگی در عملکرد سامانه اختلال ایجاد نکند، به طور متناوب با تزریق پیوسته^۳ مایع رنگی به مدت ۳۰ دقیقه کار کند. ماده رنگی مورد استفاده باید به وسیله غشای نو (سالم) در سامانه دفع شود.

۱۰-۳ دستگاه

۱۰-۳-۱ مخزن خوراک: برای آزمون های ناپیوسته^۳ (با باز چرخش) یک مخزن تغذیه با حجم کافی نسبت به اندازه سامانه که اجازه عملیات را در حالت باز چرخش بدهد لازم است، مانند مخزن CIP که به لوله کشی جریان های خوراک و خروجی سامانه متصل است. در مقابل برای آزمون های جریان پیوسته^۴ یک سامانه با پمپ تغذیه مواد شیمیایی که برای تزریق کنترل شده ماده رنگی کالیبره شده، قابل استفاده است و قبل از پمپ فشارقوی نصب می شود.

۱۰-۳-۲ طیف سنج: طیف سنج باید قابلیت اندازه گیری بهترین طول موج را برای طیف جذب شده مربوط به ماده رنگی مورد نظر را داشته باشد.

۱۰-۳-۳ فلورومتر: فلورومتر باید قابلیت اندازه گیری رودامین دلیوتی را با دقت حداقل ۱۰ نانوگرم در لیتر (ng/l) در آب تمیز و با استفاده از طول موج تحریک ۵۵۰ نانومتر و طول موج انتشار حدوداً ۵۷۰ تا ۷۰۰

1-Fluorometer

۴- Linton و Chapman دریافتند که پاسخ بزرگ تر از $0.53 \mu\text{g/l}$ معنی دار بوده و می تواند از سطح مبنا متمایز شود. لذا، غلظت خوراک 5mg/l و غلظت جریان تراویده $5 \mu\text{g/l}$ نشان دهنده $3 \log$ کاهش LRV رنگ خواهد بود.

3- Batch

4- Flow- Through

نانومتر را داشته باشد. یک نمونه فلورومتر مناسب برای این منظور، Turner Designs model TD-700 می‌باشد.

۴-۱۰ شناساگرها

۱-۴-۱۰ مواد رنگی غیر فلورسنت

۲-۴-۱۰ محلول رنگی خوراک

برای تمامی سامانه‌های RO و آن دسته از سامانه‌های NF که اندازه عبور غشای آن‌ها به گونه‌ای است که مولکول‌های بزرگ‌تر از ۴۰۰ دالتون را نگه می‌دارند، محلول رنگ قرمز #۴۰ (FD&Red Dye #40) پیشنهاد می‌شود. اگر ماده رنگی دیگری انتخاب شود، باید قابل امتزاج در آب و در شاخص اسیدی (pH) های میانی پایدار بوده، غیرقابل جذب در سطح غشاء و غیر سمی باشد. همچنین وزن مولکولی آن نیز باید برای غشاء مورد استفاده مناسب باشد. برای انتخاب مواد رنگی مناسب با تهیه کننده غشاء مشورت کنید.

۳-۴-۱۰ حالت بازچرخش

حجم مخزن و حجم داخلی سامانه را جمع کنید و ماده رنگی محلول را به گونه‌ای تزریق نمایید که غلظت دلخواه در کل حجم سامانه (۵۰ mg/l تا ۱۰۰ mg/l) تأمین گردد.

۴-۴-۱۰ حالت جریان پیوسته

برای رسیدن به غلظت ماده رنگی خوراک برابر با ۵۰ mg/l، برای هر ۱۰۰ gpm جریان خوراک سامانه یک محلول ۱٪ از ماده رنگی را با نرخ ۳ gal/h (۱۱/۳۶ lit/h) تزریق کنید. در صورتی که بازچرخش داخلی از جریان تغلیظ شده به خوراک وجود داشته باشد (در حد امکان آزمون باید در حالتی بدون بازچرخش داخلی انجام گیرد)، نرخ تزریق را باید کم کرد. در صورت وجود بازچرخش، غلظت ماده رنگی در جریان تغلیظ شده را با فرض دفع ۱۰۰٪ ماده رنگی محاسبه نموده و مجدداً غلظت مورد نیاز ماده رنگی در آب خوراک را محاسبه کنید.

۵-۴-۱۰ منحنی کالیبراسیون

قبل از انجام آزمون یکپارچگی غشا باید یک منحنی کالیبراسیون غلظت ماده رنگی آزمون نسبت به جذب در محدوده ۱ میکروگرم بر لیتر تا ۱ میلی گرم بر لیتر تهیه شود. برای سنجش ماده رنگی به وسیله طیف‌سنجی باید طول موج مناسب انتخاب شود.

۱۰-۴-۶ ماده رنگی فلورسنت

محلول خوراک رنگی- برای تمامی سامانه‌های RO و آن دسته از سامانه‌های NF که اندازه منافذ غشاء آن‌ها به گونه‌ای است که مولکول‌های بزرگ‌تر از ۴۰۰ دالتون را نگه می‌دارند، می‌توان از ماده رنگی فلورسنت رودامین دلیوتی استفاده نمود. مگر این که با غشاء سازگار نباشد (برای کنترل سازگاری با سازنده غشاء مشورت کنید). رودامین دلیوتی که بر روی بسیاری از سطوح جامد قابلیت جذب اندکی دارد، به‌طور گسترده‌ای در صنعت تصفیه آب به‌عنوان ردیاب مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای استفاده در آب شرب به شرطی که غلظت آن از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نکرده و آب در مدت‌زمان و دفعات کم در معرض آن قرار گیرد، توسط EPA تأیید شده است. در حال حاضر هیچ ماده فلورسنت دیگری برای استفاده در آب شرب تأیید نشده است. بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط بنیاد تحقیقاتی انجمن آب آمریکا (AwwaRF)^۱ مقدار عملی حداقل برای رودامین دلیوتی در جریان تراویده غشاء برابر با ۲۰ ng/l است. بر اساس این مقدار، حداکثر غلظت مجاز ۱۰۰ ng/l در آب خوراک، سطح چالش LRV دلخواه $\log 3/5$ و یک LRV مفروض ۳ به‌وسیله غشاهای NF و RO، به محلول خوراک با غلظت برابر با ۱۰۰ $\mu\text{g/l}$ نیاز است.

۱۰-۴-۷ آماده‌سازی محلول تزریق

محلول‌های رودامین دلیوتی تجاری موجود وزن مخصوصی برابر با ۱/۲ دارند و معمولاً ۲۱/۳٪ فعال هستند. به‌عبارت‌دیگر ۲۱/۳ قسمت از رودامین دلیوتی فعال در ۱۰۰ قسمت آب می‌باشد. برای رسیدن به غلظت دلخواه رودامین دلیوتی فعال در محلول خوراک، باید غلظت فعال و وزن مخصوص رودامین دلیوتی را منظور نمود. غلظت ۱۰۰ $\mu\text{g/l}$ رودامین دلیوتی فعال معادل ۰/۳۲ میلی‌لیتر از محلول رودامین ۲۱/۳٪ فعال در یک گالن آب می‌باشد.

۱۰-۴-۸ حالت بازچرخش

مجموع حجم مخزن و حجم داخلی سامانه را محاسبه کنید و ماده رنگی فعال را به‌گونه‌ای مخلوط نمایید که به غلظت ۱۰۰ $\mu\text{g/l}$ در کل حجم سامانه برسد.

۱۰-۴-۹ حالت جریان پیوسته

برای رسیدن به غلظت ماده رنگی خوراک برابر با ۱۰۰ $\mu\text{g/l}$ ، برای هر ۱۰۰ gpm جریان خوراک، محلول ۰/۱٪ (۱۰۰ mg/l) از ماده رنگی را با نرخ ۳/۲ gal/h تزریق کنید. در صورتی که بازچرخش داخلی جریان

1- Americanwaterworks Association Research Foundation

تغلیظ به خوراک وجود داشته باشد، نرخ تزریق تغییر می‌یابد (در حد امکان آزمون باید در حالتی بدون بازچرخش داخلی انجام شود). در صورت وجود بازچرخش، غلظت ماده رنگی در جریان تغلیظ شده را با فرض دفع ۱۰۰٪ ماده رنگی محاسبه و مجدداً غلظت مورد نیاز ماده رنگی در جریان خوراک را به دست آورید.

۱۰-۴-۱۰ منحنی کالیبراسیون

قبل از انجام آزمون یکپارچگی، باید دو منحنی کالیبراسیون غلظت ماده رنگی آزمون فلورسنسی تهیه شود: منحنی (جریان تراویده) سطح پایین (در محدوده ۱۰ ng/l تا ۳۰۰ ng/l) و (جریان خوراک) سطح بالا (۱۰ μg/l تا ۱ mg/l).

۱۰-۵ فرآیند

سامانه باید تحت شرایط بهره‌برداری توصیه شده توسط سازنده یا در شرایطی کار کند که حالت تولید معمول یک واحد صنعتی غشایی برای مدت زمان بالا و کافی که عملکرد سامانه غشایی به تعادل رسیده باشد (که با میزان جریان و دفع نمک اندازه‌گیری می‌شود)، به بهترین شکل شبیه‌سازی گردد. برای آزمون‌های ناپیوسته حجم مناسبی از ماده رنگی را به منبع خوراک اضافه نموده و از اختلاط مناسب در مخزن مطمئن شوید و محلول خوراک را تا رسیدن به پایداری غلظت ماده رنگی در سامانه بازچرخانی کنید. برای آزمون‌های با جریان پیوسته، ماده رنگی را با استفاده از پمپ با قابلیت اندازه‌گیری جریان، تزریق نمایید تا غلظت مورد نظر ماده رنگی در آب خوراک مطابق آنچه در بخش ۱۰-۴ آمده است تامین شود. ماده رنگی را در بالادست پمپ (فشارقوی) خوراک غشاء و در موقعیتی تزریق کنید که بتوان از اختلاط ماده رنگی با آب خوراک اطمینان حاصل کرد.

نقاط مناسب برای نمونه‌برداری را، به خصوص برای بخش‌هایی از سامانه که در آن نمونه‌هایی از جریان تراویده تهیه می‌شود، مشخص نمایید. مقدار غشاء متناظر برای هر نمونه از جریان تراویده، حساسیت آزمون را تعیین می‌کند. زیرا هر جریان نشستی با حجم جریان تراویده از بخش‌های بدون نشستی غشاء رقیق می‌شود. توصیه می‌گردد که از جریان تراویده هر محفظه فشار (در یک ردیف^۱ غشاء) نمونه‌برداری شود تا بیشترین حساسیت به دست آید.

۱۰-۵-۱ مواد رنگی غیر فلورسنت

به سامانه اجازه دهید به مدت ۱۵ دقیقه یا هر مدت زمانی که توسط سازنده توصیه شده کار کند تا از نظر جریان، فشار و دمای ثابت به تعادل برسد.

از هر یک از جریان‌های خوراک، تغلیظ شده و تراویده و نیز از هر یک از خانه‌ها که سلامت آن مورد آزمون است، یک نمونه ۱۰۰ میلی‌لیتری تهیه کنید و در لوله‌های آزمون تمیز یا ظروف مخصوص مرکب قرار

1- Train

دهید. مقدار جذب نمونه‌های خوراک، تغلیظ‌شده و تراویده را با استفاده از یک طیف‌سنج در طول‌موج مناسب برای ماده رنگی مورد استفاده (۵۰۲ نانومتر برای FD&C Red Dye #40) اندازه‌گیری و ثبت نموده با استفاده از منحنی کالیبراسیون ارتباط آن را با مقدار غلظت ماده رنگی مشخص نمایید. با استفاده از معادله ۱۷ بخش ۱۰-۶، درصد ماده رنگی عبوری را مشخص نمایید.

۱۰-۵-۲ مواد رنگی فلورسنت

به سامانه اجازه دهید به مدت ۱۵ دقیقه یا هر مدت زمانی که توسط سازنده توصیه شده، با ثابت نگه‌داشتن شرایط جریان، فشار و دما به تعادل برسد. در انتهای این مدت‌زمان، از هر یک از جریان‌های خوراک، تغلیظ‌شده و تراویده کل سامانه و نیز از هر یک از محفظه‌ها که یکپارچگی آن مورد آزمون است، یک نمونه ۱۰۰ میلی‌لیتری تهیه کنید و در لوله‌های آزمون تمیز یا ظروف مخصوص مرکب قرار دهید. مقدار تابش (فلورسنت) نمونه‌های خوراک، تغلیظ و تراویده را با استفاده از یک فلورومتر و طول‌موج‌های تحریک و انتشار^۱ مطابق آنچه در بخش ۱۰-۴ توصیف شده اندازه‌گیری و ثبت نموده و غلظت ماده رنگی را با استفاده از منحنی کالیبراسیون مناسب مشخص نمایید. با استفاده از معادله ۱۷ بخش ۱۰-۶ درصد ماده رنگی عبوری را محاسبه کنید.

۱۰-۶ محاسبات

برای محاسبه مقدار عبور ماده رنگی از معادله زیر استفاده نمایید:

(۱۷)

$$Dye\ Passage\ (\%) = \frac{C_p}{C_f} \cdot 100$$

که در آن:

C_p غلظت ماده رنگی در جریان تراویده و C_f : غلظت ماده رنگی در جریان خوراک است

درصدهای عبور ۱٪ و ۰/۱٪ متناظر با مقادیر LRV به ترتیب برابر با $\log 2$ و $\log 3$ می‌باشند.

با توجه به این که در سامانه‌های سری، جریان تغلیظ‌شده هر مرحله، جریان خوراک برای مرحله بعدی است، غلظت ماده رنگی در خوراک مراحل پایین دست بیشتر خواهد شد. برای محاسبه غلظت ماده رنگی در خوراک مراحل پایین دست فرض کنید غلظت خوراک ورودی هر مرحله در آرایه مشخص برابر است. غلظت ماده رنگی تزریقی به هر مرحله جداگانه را با کاهش حجم خوراک مجدداً محاسبه کنید. برای این کار از کاهش حجم تقریبی مقدار جریان تراویده مرحله قبلی درحالی که مقدار ماده رنگی در محلول خوراک ثابت باشد، استفاده نمایید. ماده رنگی با غلظت بالاتر به مرحله پایین دست وارد می‌شود. در مقابل، می‌توان فرض

1 - Excitation and Emission

کرد که خوراک هر مرحله در شرایط سری، به ترتیب معادل خوراک کل سامانه است. این شرایط ضریب اطمینان آزمون را افزایش می‌دهد. ولی ممکن است نشانه‌ای اشتباه از یک نشتی باشد.

اگر یک نشتی شناسایی شد، جریان تراویده مرکب^۱ از هر مرحله را اندازه‌گیری کنید تا بتوان مرحله‌ای را که نقص یکپارچگی دارد، شناسایی نمود. سپس جریان تراویده هر یک از محفظه‌ها در محدوده مشکوک به نشت را اندازه‌گیری نمایید تا بتوان جزء یا اجزایی را که نشت از آن‌ها رخ می‌دهد را ایزوله کرد^۲.

۱۱ روش د- استفاده از روش‌های پایش پیوسته پراش نور توسط ذرات برای پایش یکپارچگی غشاء

۱-۱۱ دامنه کاربرد

این استاندارد برای سامانه‌های غشایی MF، UF، NF و RO با پیکربندی‌هایی مانند مارپیچی، لوله‌ای یا صفحه تخت کاربرد دارد.

هشدار- حداقل غلظت ذرات در آب خوراک باید بزرگ‌تر از مقداری باشد که در جریان تراویده یافت می‌شود. این روش برای سامانه‌های غشایی قابل‌استفاده است که در آن اجازه پایش منبع آب خوراک و جریان تراویده به همان‌گونه که از یک مدول غشایی خارج می‌شود، وجود داشته باشد.

یادآوری- برای روش‌های کدورت سنجی، کدورت آب خوراک باید حداقل برابر با ۵ NTU / ۰ (۵۰۰ mNTU) بوده و برای روش شمارش ذرات، غلظت عددی آب خوراک باید حداقل یک‌ذره در میلی‌لیتر بیش از آستانه تعیین‌شده برای اعمال در آزمون باشد.

این روش برای استفاده از دو فنآوری لیزری مختلف ردیابی ذرات تعریف‌شده است: شمارش نوری ذرات (طرح‌های جذب^۳ نور) و کدورت سنجی لیزری (پراش نوری). تطابق هریک از این دو فنآوری با سامانه‌های انتقال مشترک حسگر یا مایع^۴ می‌تواند حساسیت را افزایش و تشخیص نقص را تسهیل کند.

در این روش امکان پایش پیوسته هر نقطه نمونه‌برداری وجود دارد. جریان در هر نقطه پایشی (که دارای یک حسگر باشد) پیوسته بوده و تناوب اندازه‌گیری در حین فیلتراسیون نیز هر ۱۵ دقیقه است.

۱۱-۲ اصول روش

1- Composite

۲- المان‌های موجود در محفظه می‌توانند به‌طور جداگانه با فرآیند مشابهی با روش الف برای تعیین این‌که کدامشان فاقد یکپارچگی هستند مورد آزمون قرار گیرند.

3- Obscuration

4- Sensor or Liquid Multiplexing

این روش بر اساس این که غشاء سالم و یکپارچه اجازه عبور ذرات بزرگتر از ۱ میکرون را به جریان تراویده نمی‌دهد، استوار است. مشاهده افزایش ناگهانی (یا جهش) تعداد ذرات بزرگتر از $1 \mu\text{m}$ نشانهٔ فقدان یکپارچگی (وجود نقص) می‌باشد. به‌هنگام فقدان یکپارچگی، خط مبنای اندازه‌گیری و دامنه نوسان آن در پاسخ افزایش می‌یابد.

این روش جریان پیوسته‌ای از اطلاعات مرتبط با کیفیت جریان تراویده را به‌هنگام خروج از مدول غشایی فراهم می‌کند. افت کیفیت جریان فیلترشده، انعکاسی از وضعیت یکپارچگی مدول بوده و با افزایش تعداد ذرات در آن بروز می‌نماید. از این روش می‌توان برای تشخیص تغییرات در یکپارچگی استفاده نمود. هر تغییر کمی مستلزم کالیبره نمودن پاسخ عامل ویژه پایش، در مقابل یک کدورت تعیین‌شده یا استاندارد شمارش ذرات است.

حساسیت هر یک از فناوری‌ها می‌تواند با توجه به شرایط آب خوراک، پیش‌تصفیه، جنس غشاء، طراحی مدول و شبکه^۱ غشایی، متفاوت باشد. میزان حساسیت را می‌توان با مطالعات برش فیبر بر روی یک واحد پایلوت دارای یک مدول نمونه در مقیاس واقعی، تعیین کرد. طی این مطالعه می‌توان رابطهٔ بین پاسخ پارامترهای ابزار (مقدار کدورت لیزری، مقدار RSD، یا تعداد ذرات بزرگتر از یک قطر آستانه) با تعداد فیبرهای برش خورده را رسم کرد.

مطمئن شوید که ابزارها در نقطه نمونه‌برداری مناسب نصب‌شده‌اند. به‌گونه‌ای که حسگر ابزار مورد استفاده به‌طور کامل مشخصات نمونه معرف را منعکس نموده و تداخل‌ها را به حداقل برساند.

اجازه دهید ابزارها در موقعیت مناسب خود مستقر شوند. این امر با خطوط اندازه‌گیری پایدار نمایش داده می‌شود.

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری خطوط مبنای پایدار را می‌توان برای محدوده‌های کنترل بالا (UCL) به‌عنوان سطوحی از هشدار که ظرفیت وجود نشت را نشان می‌دهد، استفاده نمود. فرمول‌های مرتبط را در بند ۱۱-۸-۱ ببینید. اگر فناوری خاصی برای تعیین تغییر نسبی در یکپارچگی غشاء به کار رود، روش

توصیه‌شده برای تعیین UCL باید مبتنی بر یک سطح اطمینان ۹۵٪، ۹۹/۷٪ یا ۹۹/۹۹۷٪ باشد. با توجه به مقداری که در آن تداخل‌ها کم شده است، این مقادیر UCL را می‌توان برای تعیین حدود هشدار برای ردیابی پتانسیل نشتی در غشا استفاده نمود. به راهنمای استاندارد ASTM D3864 برای فرمول‌های لازم جهت تعیین انحراف استاندارد و تعیین مقادیر UCL مراجعه شود.

اگر روش پایش برای کمی کردن تغییرات در عملکرد فیلتراسیون به کار رود، به‌طور مثال برای تأیید یک LRV، مقدار UCL باید بر اساس نتایج آزمونی محاسبه شود که از مطالعات برش فیبر بر روی همان نوع مدول و تحت همان شرایط آب خوراک (مورد انتظار) به‌دست آمده باشد. شکل ۵ نمونه‌ای از نحوه استفاده از

مطالعه برش فیبر در به کارگیری UCL برای مجموعه ویژه‌ای از پارامترهای پایش را نشان داده و هشدار لازم در خصوص وجود احتمال نشت در غشاء را به بهره‌بردار می‌دهد.

رقیق‌سازی و میزان جریان، حساسیت این روش‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تغییرات جریان هر یک از واحدهای غشائی پایلوتی و مقیاس واقعی باید معلوم بوده و برای محاسبه اختلاف حساسیت باید از روش‌های توسعه‌یافته پایلوتی و مقیاس واقعی استفاده شود.

ابزارهایی باقابلیت میانگین‌گیری از داده‌های اندازه‌گیری شده متوالی برای کاهش احتمال خطا موجود است و می‌تواند به افزایش قابلیت اطمینان در اندازه‌گیری‌ها کمک نماید.

مقادیر UCL باید در فواصل زمانی مشخص به‌روز شود تا هرگونه انحراف درازمدت در ابزار دقیق و تغییرات در آب خوراک را پوشش دهد. برای تعیین و به‌روز نمودن مقدار UCL اندازه‌گیری شده با سازندگان ابزار مشورت نمایید. محاسبه UCL و تنظیم علائم هشدار را می‌توان با ابزارگذاری تحلیلی و/یا با استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت داده که در صنایع موجود هستند انجام داد.

۱۱-۳ اهمیت و کاربرد

روش‌های آزمون یکپارچگی ارائه‌شده برای پایش عملکرد غشاها، مبتنی بر قابلیت غشاء در حذف ذرات با حداقل قطر $1 \mu\text{m}$ می‌باشند.

روش‌های آزمون را می‌توان بر اساس طرح‌های فیلتراسیون با فشار مثبت یا منفی به‌کار برد. هرچند که استفاده از طرح‌های مختلف فیلتراسیون، مستلزم استفاده از ترکیب‌های مختلف نمونه‌برداری جهت حذف تداخل‌ها می‌باشد.

این فناوری‌ها را برای سامانه‌های غشایی با ترکیب و اندازه مختلف می‌توان به‌کار برد. فناوری‌های شمارش ذرات و کدورت سنجی لیزری بیشتر برای سامانه‌های کوچک که کمتر از سه مدول دارند، مناسب می‌باشند. برای سامانه‌های غشایی با طرح‌های شبکه‌ای که تعداد مدول بیشتری دارند استفاده از انتقال مشترک^۱ حسگر یا مایع می‌تواند حساسیت ردیابی نشت را افزایش دهد.

در صورتی که برای پایش هر یک از مدول‌ها از یک حسگر مستقل استفاده شود، بیشترین حساسیت به دست خواهد آمد. استفاده از نسبت پایش ۱:۱ حسگر به مدول، بالاترین حساسیت را ایجاد نموده و قابلیت ردیابی مستقیم مدول مورد ظن را فراهم می‌نماید.

قابلیت هر یک از این فناوری‌ها در تشخیص هرگونه نقص، متأثر از اندازه مدول غشایی (سطح کل هر مدول) و اندازه شبکه غشائی می‌باشد.

1 - Multiplexing

با افزایش سطح یک مدول، ممکن است حساسیت آن کاهش یابد. در این حالت باید از فناوری‌هایی که بیشترین حساسیت را نشان می‌دهند استفاده نمود.

در صورتی که لزوماً ابزار پایش پیوسته به‌عنوان یک ابزار کمی مورد استفاده قرار گیرد، ابزار باید با استفاده از مواد مناسب برای صنعت کالیبره شود. برای انتخاب مواد کالیبراسیون با سازنده یا مراجع معتبر مشورت کنید.

در صورتی که ابزار پایش پیوسته برای ردیابی تغییرات غیر کمی مورد استفاده قرار گیرد، نیازی به کالیبراسیون با یک استاندارد قابل ردیابی نمی‌باشد. هر چند که یک کالیبراسیون تطبیقی با سطح مبنای آب فیلترشده خروجی از یک مدول غشایی که یکپارچگی آن تأیید شده است، باید انجام پذیرد.

خطوط مبنا و نوسانات آن ممکن است برای انواع مختلف آب خوراک متفاوت باشد.

برای تعیین LRV می‌توان از شمارش ذرات استفاده کرد. بدین منظور لازم است پایش آب خوراک و نمونه فیلترشده در کل مدول یا شبکه غشایی به‌صورت هم‌زمان انجام گیرد. هر دو ابزار (برای آب خوراک و فیلترشده) باید با مواد یکسان کالیبره شده و تنظیمات همسانی داشته باشند.

ذره‌شمارهایی با توانایی سنجش ذرات به‌اندازه $1 \mu\text{m}$ در تعیین فقدان یکپارچگی غشاء دارای حساسیت بیشتری نسبت به حسگرهای با اندازه آستانه بزرگ‌تر، می‌باشند.

۴-۱۱ تداخل‌ها

این روش ردیابی مبتنی بر فناوری پراش نور مرئی می‌باشد. حباب‌های حاصل از خروج گاز از خط نمونه‌برداری که به حسگر می‌رسند، می‌توانند موجب خطای مثبت و اختلال بیشتر در خط مبنا شوند. گاز موجود در نمونه باید به مقدار کافی تخلیه شود. برای این منظور از روش‌های آماده‌سازی مانند استفاده از دستگاه‌های حذف حباب (تله حباب) و ایجاد پس فشار^۱ در سلول جریان داخل حسگر، بهره‌گرفت. به استاندارد ASTM D3864 مراجعه شود.

برای انتخاب نقاط نمونه‌برداری مناسب و هرگونه فنون ویژه با سازندگان ابزار و غشاء مشورت نمایید. برای اطلاعات بیشتر در خصوص نمونه‌برداری و حذف حباب به روش آزمون استاندارد ASTM D6698 مراجعه شود.

در زمان شستشوی شبکه غشایی مقدار قابل توجهی حباب ایجاد می‌شود. این رویدادها از جمله جریان معکوس، جریان معکوس هوا در فرآیندهای پاک‌سازی درجا، می‌توانند موجب ایجاد تداخل قابل توجه حباب‌های باقیمانده در خطوط نمونه‌برداری، پس از اتمام فرایند شوند.

1 - Back Pressure

هر نشانه‌ای از شبکه غشائی که حاکی از توقف جریان باشد، می‌تواند به‌طور پیوسته به ورودی برنامه ثبت داده‌های ابزارهای پایش ارسال شود. تا اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها را زمانی که شبکه در جریان فیلتراسیون مستقیم نمی‌باشد، متوقف کند. بعد از اینکه جریان فیلتراسیون مجدداً شروع شد، به یک تأخیر زمانی برای تخلیه هوای اضافی از خطوط نمونه‌برداری نیاز است.

۱۱-۵ وسایل مورد نیاز

۱۱-۵-۱ ذره شمار

در روش استاندارد ASTM F658 طرح‌های مناسبی وجود دارد که می‌تواند در این روش نیز مورد استفاده قرار گیرد. ذره‌شمارهای نوری با طرح‌های سنجش درجا یا حجمی که دارای قابلیت درجه‌بندی ذرات با اندازه‌هایی در محدوده $1\ \mu\text{m}$ تا $100\ \mu\text{m}$ باشند، باید مورد استفاده قرار گیرند. ذره‌شمار باید بتواند تعداد کل ذرات بزرگ‌تر از اندازه آستانه مشخص را در هر میلی‌لیتر تعیین نماید. همچنین باید بتواند به‌طور پیوسته و با نرخ مشخص در محدوده ۵۰ تا ۲۵۰ mL/min نمونه‌برداری کند.

روش‌های استاندارد ASTM E20 و ASTM F658 دارای راهنما در خصوص طرح‌های ذره‌شمار و اطلاعات کالیبراسیون آن‌ها می‌باشند.

۱۱-۵-۲ کدورت سنج لیزری

کدورت‌سنج لیزری باید متشکل از یک منبع نور یا دیود لیزری برای باریکه نور باشد. ردیاب دستگاه معمولاً در ۹۰ درجه تنظیم می‌شود ولی ممکن است از سایر زوایای ردیابی نیز برای افزایش حساسیت استفاده شود. ابزار باید به‌گونه‌ای طراحی شود که در نبود ذره‌ای در نمونه، اندکی نور ره‌اشده به ردیاب برسد. به‌طور مشخص منبع نور باید در $660\pm 30\ \text{nm}$ تنظیم شود. انحراف از تابش موازی نباید وجود داشته باشد و

هرگونه همگرایی نیز نباید از $1/5$ درجه تجاوز کند. فاصله طی شده نورتابشی و پراش نور نباید از ۱۰ سانتیمتر تجاوز کند. ردیاب باید دارای طرح لوله تقویت‌کننده نور^۱ با پاسخ طیفی باشد که باریکه نورتابشی را همپوشانی نماید. طول موج باریکه نورتابشی باید با حداقل ۷۵٪ پیک پاسخ کل همپوشانی داشته‌باشد. انتقال باریکه‌های نورتابشی و یا نور پراکنده‌شده را می‌توان با استفاده از کوپلینگ‌های فیبر نوری انجام داد.

۱۱-۵-۳ کاربردهای انتقال مشترک^۲ داده مبتنی بر حسگر

طرح انتقال مشترک با حسگر را که در آن یک سری اجزای تحلیلی معمول در نقاط مختلف نمونه‌برداری به‌طور همزمان به کار می‌روند، می‌توان برای هر یک از فناوری‌های کدورت سنج لیزری یا شمارش ذرات استفاده نمود. مثالی از سامانه انتقال مشترک مبتنی بر لیزر در اینجا ارائه شده است. در این روش از یک منبع نور لیزری و یک ردیاب با حساسیت بالا استفاده می‌شود که قابلیت ردیابی فقدان یکپارچگی غشاء را

1- Photomultiplier

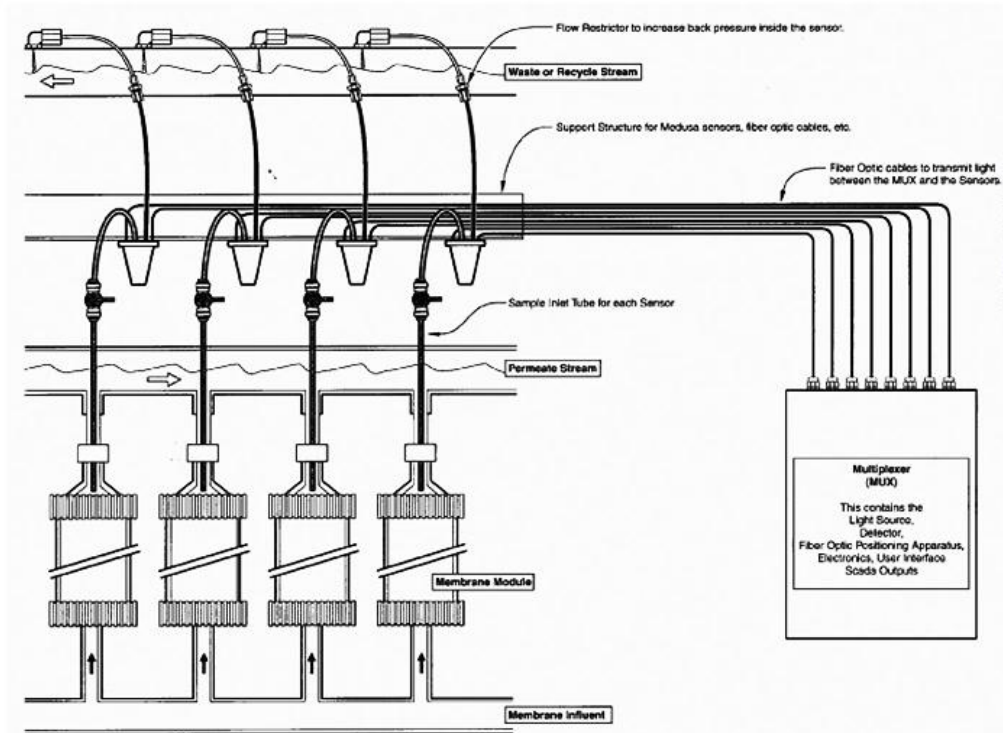
2- Multiplexing

دارند. این اجزا بین تعداد زیادی از حسگرها که به نقاط نمونه برداری منحصربه فردی اختصاص دارند، به اشتراک گذاشته می شوند. کل سامانه پایش با انتقال مشترک مبتنی بر حسگرها، متشکل از سه بخش است: تسهیم کننده مشترک^۱ یا ابزار مرکزی، کابل های انتقال فیبر نوری و حسگرها. تسهیم کننده معمولاً از اجزایی مانند عدسی ها، ابزارهای الکترونیکی و رابط کاربر^۲ تشکیل شده است که مابین تمامی حسگرها به اشتراک گذاشته می شود. ابزار مرکزی دربرگیرنده محل و منشأ سیگنال های نوری و نیز محل انتهائی برای تمامی سیگنال های نور پراکنده شده برگشتی از حسگرها می باشد. حسگرها معمولاً واحدهای نمونه برداری پیوسته می باشند که نمونه از داخل آنها عبور می کند. این حسگرها دارای دریچه های ورود و خروج نمونه و نیز اتصالاتی برای دریافت نورتابشی از ابزار مرکزی می باشند. حسگرها همچنین دارای اجزایی هستند که امکان انتقال نور پراش به ابزار مرکزی را فراهم می نمایند. کابل های انتقال فیبر نوری، مجاری انتقال نور بین حسگرها و تسهیم کننده مرکزی می باشند. در این مثال، یک جفت کابل فیبر نوری هر حسگر را به تسهیم کننده وصل می کند. تحلیل یا اندازه گیری نمونه ای که در بین حسگرهای مرتبط باهم در جریان است، بر اساس طرح سامانه می تواند به صورت متوالی یا موازی انجام گیرد. شکل ۶ نمودار نحوه اتصال یک سامانه نوری تسهیم کننده مبتنی بر حسگر به یک شبکه غشایی را نشان می دهد.

۱۱-۵-۴ کاربردهای تسهیم کننده با مایع

روش انتقال مشترک با مایع، برمبنای انتقال جریان های نمونه جداگانه از منبع خود به یک محل ورودی بر روی یک دستگاه شیر چند راهه استوار است. خروجی دستگاه به وسیله لوله هایی به دستگاه ردیاب ذره (مانند کدورت سنج لیزری یا ذره شمار) وصل است. شیر چند راهه به ترتیب اجازه عبور جریان های نمونه از داخل ابزار ردیابی ذرات را فراهم می کند. کنترل شیر چندراهه می تواند به صورت خودکار یا دستی انجام گیرد. برای این که نمونه قدیمی به طور کامل از شیر چند راهه، لوله های خروجی و ابزار ردیابی ذرات خارج شود و یک نمونه نماینده^۳ به دست آید، باید فاصله زمانی کافی بین دو نمونه برداری وجود داشته باشد. بهنگام استفاده از یک روش انتقال مشترک مایع، اندازه و حجم هر نمونه از منبع تا شیر چند راهه و نرخ جریان باید معلوم باشد. بدین ترتیب می توان از تهیه یک نمونه نماینده و یک رشته داده های کیفی اطمینان حاصل کرد.

1- Multiplexer
2- User Interface
3-Representative



شکل ۶- نمودار نحوه اتصال یک سامانه پایش نوری تسهیم کننده مبتنی بر حسگر در یک شبکه غشائی

۱۱-۶ واکنشگرها

۱۱-۶-۱ استانداردهای کدورت

روش آزمون ASTM D6698 استانداردهای کالیبراسیون مناسب برای کدورت سنجها را تعیین می‌نماید.

۱۱-۶-۲ شمارش‌گرهای ذرات- روش استاندارد ASTM F658 راهنمایی لازم برای مواد کالیبراسیون را ارائه می‌نماید. از گره‌های کالیبراسیون از جنس لاتکس پلی‌استایرن که اندازه مشخصی دارند، استفاده کنید. برای انتخاب نوع و اندازه مواد مورد استفاده با تولیدکننده مشورت نمایید.

۱۱-۶-۳ آب رقیق‌سازی

این آب با فیلتر کردن آب از نوع III یا آب بهتر از آن، به وسیله یک فیلتر ۰/۲۲ میکرونی یا ریزتر در مدت یک ساعت، تهیه می‌گردد. آب خروجی اسمز معکوس نیز قابل قبول و ارجح است.

۱۱-۷ روش کار

۱۱-۷-۱ نصب سامانه

برای نصب دقیق و اتصال سامانه پایش به مدول یا شبکه غشایی به دستورالعمل سازنده مراجعه کنید. برای راهنمایی در خصوص نصب و نمونه برداری از آب با کدورت پائین به استاندارد ASTM D6698 مراجعه نمایید. برای انتخاب بهترین نقطه (یا نقاط) شبکه غشایی به سازنده غشاء مراجعه کنید. در صورتی که هدف تعیین LRV باشد، حسگر مناسب را بر روی آب خوراک نصب کنید.

تعیین LRV فقط به وسیله فناوری مورد استفاده قابل ردیابی می باشد. مقادیر به دست آمده از یک فناوری (شمارش ذرات یا کدورت) را نمی توان به جای مثلاً نرخ زوال فشار استفاده نمود.

جریان لازم برای تمامی حسگرها را فراهم کنید. در صورت نیاز، فشار و جریان را تنظیم کنید. قبل از تعیین حدود کنترل بالا (UCL)، اجازه دهید جریان نمونه حداقل به مدت ۲۴ ساعت برقرار باشد تا شرایط آماده سازی و تثبیت خطوط نمونه و سطوح داخلی، با حسگرها انجام گیرد. بخش ۱۱-۲ را ببینید.

دوره آماده سازی ۲۴ ساعته، برای تر شدن تمامی سطوحی که نمونه قبل و حین آنالیز از آنها عبور می کند، کافی است. در این مدت آماده سازی، به دلیل خارج شدن حبابها در حین فرآیند خیس شدن، قرائت‌ها دارای خطا است. این مدت زمان بسته به نوع مصالح مورد استفاده در ساخت حسگرها و خطوط نمونه برداری متغیر است. زمانی که قرائت‌ها ثابت شدند، سامانه پایش آماده به کار تلقی می شود.

قرائت اندازه گیری به وسیله هر حسگر (نقطه نمونه) را در جریان فیلتراسیون مستقیم در فواصل زمانی کمتر از ۱۵ دقیقه انجام دهید.

هر زمانی که قرائت انجام می گیرد، آن را با UCL مربوطه مقایسه نمایید. در صورتی که مقدار اندازه گیری شده از UCL تعیین شده بیشتر باشد، باید برای آن نقطه هشدار دهنده ای فعال شود.

در صورتی که پایش برای LRV صورت گیرد، اختلاف بین لوگ شمارش ذرات در آب خوراک و جریان فیلتر شده را برای مدول یا شبکه غشایی مشخص که با همان فاصله زمانی پایش می شود تعیین کنید.

پایش فرآیند را برای یافتن انحرافهایی که موجب هشدار UCL می شوند، ادامه دهید. در صورت اعلام هشدار، تحقیقات بیشتر در خصوص علت آن برای تعیین احتمال فقدان یکپارچگی لازم است.

یادآوری- برای راهنمایی‌های بیشتر در مورد نحوه نمونه برداری، به پیوست (ب) مراجعه شود.

۱۱-۸ محاسبات

برای محاسبه LRV با استفاده از شمارش ذرات:

(۱۸)

$$LRV = \log\left(\frac{Cts_f}{Cts_p}\right)$$

که در آن:

Cts_f تعداد ذرات در جریان آب خوراک؛

Cts_p تعداد ذرات در جریان تراویده یا فیلترشده هستند.

از همین روش برای محاسبه LRV در سایر فناوری‌های اندازه‌گیری استفاده می‌شود.

۱-۸-۱۱ محاسبه مقادیر UCL

$UCL = M_p + 2\sigma_p$	برای ضریب اطمینان ۹۵ درصد
$UCL = M_p + 3\sigma_p$	برای ضریب اطمینان ۹۹/۵ درصد
$UCL = M_p + 4\sigma_p$	برای ضریب اطمینان ۹۹/۹۹۷ درصد

که در آن:

M_p مقدار متوسط برای یک سری حداقل ۷ تایی از اندازه‌گیری‌های متوالی از جریان آب تراویده یا فیلترشده برای یک پارامتر پایش خاص؛

σ_p انحراف معیار برای همان سری اندازه‌گیری برای محاسبه M_p می‌باشند.

یادآوری - برخی از ابزارهای جدیدتر، توانایی انجام این محاسبات را دارند. در نبود چنین محاسباتی، برنامه‌های SCADA و PLC این کار را می‌توانند انجام دهند.

۹-۱۱ تفسیر نتایج

کاهش ناگهانی در مقدار LRV محاسبه‌شده از یک حد کنترل تعیین‌شده از قبل، نشانگر اختلال در یکپارچگی غشاء است.

قرائتی که از حد کنترل تعیین‌شده تجاوز کند، نشانگر احتمال وجود اختلال در یکپارچگی غشاء و نیازمند تحقیقات بیشتر است. اختلال^۱ یا تغییرات زیاد در خط مبنای اندازه‌گیری نیز نشانگر احتمال وجود اختلال در یکپارچگی غشاء می‌باشد. برای مثال چنانچه خطوط مبنایی که قبلاً از مقادیر UCL تجاوز نمی‌کردند، به‌صورت ناگهانی تبدیل به خطوط مبنایی شوند که در آن ۲۵٪ کل اندازه‌گیری‌ها از UCL تجاوز نماید، نشان‌دهنده یک اختلال بالقوه در یکپارچگی غشاء است.

1-Noise

در نقاطی که قرائت‌ها از حد کنترل بالا تجاوز کنند، بهره‌بردار باید بیشتر تحقیق کند تا وجود اختلال را بررسی و تعیین نماید. از آزمون یکپارچگی مبتنی بر فشار یا خلأ، می‌توان برای تأیید یا رد هشدار استفاده کرد.

در شکل ۵، از دو پارامتر برای پایش فیلتراسیون غشایی از طریق یک سری آزمون برش فیبر استفاده شده است. خط خاکستری کدورت لیزری جریان فیلترشده را نشان می‌دهد و خط سیاه نیز نشان‌دهنده قابلیت تغییر در اندازه‌گیری می‌باشد که با عنوان %RSD شناخته می‌شود. خط‌چین‌های خاکستری و سیاه نیز به ترتیب نشان‌دهنده حدود کنترل بالا (UCL) برای پارامترهای کدورت و %RSD می‌باشند. مقادیر UCL بر اساس حد اطمینان ۹۹/۵٪ مطابق معادلات ۱۱-۸-۱ تعیین شده‌اند. آزمون‌های برش فیبر شامل برش تمامی فیبرها در ابتدا و سپس انجام تعمیرات در مراحل بعدی بوده است. هر مرحله تعمیر فیبر با خط‌چین افقی سیاه جدا شده است. توصیفی از حالت مدول غشایی با توجه به تعداد فیبرهای برش خورده در متون داخل کادر ارائه شده است.

نمودار، پاسخ هر دو پارامتر را نسبت به تأثیر فیبرهای شکسته نشان می‌دهد. در صورتی که پاسخ هر پارامتر از UCL مربوط تجاوز می‌کرد، ردیابی اختلال در یکپارچگی غشاء تأیید می‌شد. هر دو پارامتر، تغییرات یکپارچگی را برای همه آزمون‌هایی که شامل یک یا چند فیبر شکسته باشند، شناسایی می‌کنند. در آزمون فقدان یکپارچگی، تنها پاسخ کدورت مربوط به آسیب‌های سوزنی (پین هول) مشکوک بود. اما پارامتر تغییرات سطح مینا، تغییراتی را شناسایی نمود که با تجاوز از حد هشدار UCL ثابت شد.

آب خوراک مورد استفاده برای سامانه پایلوتی، مخلوطی از آب خام و خروجی حوض ته‌نشینی یک تصفیه‌خانه آب بود. کدورت در محدوده ۱ NTU تا ۳ NTU نگه‌داشته شده. نمونه‌گیری از آب فیلتر شده به محض خروج از مدول غشایی انجام می‌گرفت. صفحه‌بندی داخلی مدول تهیه نمونه همگن را فراهم می‌نمود. شدت جریان از داخل حسگرها ۵۰ میلی‌لیتر بر دقیقه و پس فشار آن برابر با ۵psi بود. در هنگام انجام آزمون جریان آب خوراک برابر با ۳۰ gpm بود. سامانه غشایی از نوع اولترافیلتر (UF) فیبر توخالی با جریان تحت فشار از داخل به خارج بود. شار عبوری از غشاء برابر با ۳۰ تا ۳۵ gal/ft²/day بوده و مدول شامل دو جزء غشایی بود که هر یک حدوداً ۱۵۰۰۰ فیبر داشت. ترکیب مدول و اجزاء آن معرف آنچه که در سامانه‌های واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بودند. هرچند در شرایطی که یک یا چند آسیب سوزنی وجود دارد، بخشی از داده‌ها از شرایط هشدار تجاوز می‌کنند و بخشی دیگر کمتر از آن می‌باشند. این شرایط مستلزم تحقیقات بیشتر در مورد علت آن است. که در این مورد کاهش‌ها می‌تواند ناشی از گرفتگی بخشی از نقص‌ها باشد که با جریان شستشوی معکوس مجدداً بازتر می‌شوند. از روی احتیاط می‌توان سامانه غشایی را از خط خارج نموده و تحقیقات بیشتر در مورد اختلال در یکپارچگی غشاء را از طریق آزمون یکپارچگی مستقیم انجام داد.

۱۲ کلمات کلیدی

پایش پیوسته. یکپارچگی. غشاء. انتقال مشترک داده. زوال فشار، آزمون ماده رنگی محلول. آزمون TOC. آزمون زوال خلأ

پیوست الف

(اطلاعاتی)

استخراج معادلات

جریان جرمی ذراتی که در جریان فیلترشده از سامانه خارج می‌شوند، شامل ذراتی که از غشا عبور می‌کنند ($C_{bypass} \cdot Q_{bypass}$) و ذراتی که از کنار غشا و از داخل نقص‌ها و نشتی‌ها عبور می‌کنند ($C_{membrane} \cdot Q_{membrane}$) است. است جریان ذرات که عملکرد غشا را به چالش می‌کشند ($C_{feed} \cdot Q_{filt}$) می‌باشند. کاهش لوگ ذرات از داخل غشاء به وسیله موازنه جرمی و با معادله "الف-۱" تعیین می‌شود.

(الف-۱)

$$LRV = \log_{10} \left(\frac{C_{raw} \cdot Q_{filt}}{(C_{bypass} \cdot Q_{bypass} + C_{membrane} \cdot Q_{membrane})} \right)$$

که در آن:

C_{raw} غلظت ذرات در جریان ورودی به سامانه؛

C_{filt} غلظت ذرات در جریان فیلتر شده خروجی از سامانه؛

C_{bypass} غلظت ذرات در جریان نشتی از طریق نقص‌ها و نشتی‌ها؛

$C_{membrane}$ غلظت ذرات عبوری از غشاء؛

Q_{feed} نرخ جریان خوراک به غشاء؛

Q_{filt} نرخ جریان فیلترشده عبوری از غشا ($Q_{bypass} + Q_{membrane}$)؛

Q_{bypass} نرخ جریان عبوری از طریق نقص‌ها و نشتی‌ها؛

$Q_{membrane}$ نرخ جریان عبوری از قسمت سالم و یکپارچه غشاء و

LRV مقدار لوگ کاهش ذرات از داخل سامانه غشایی.

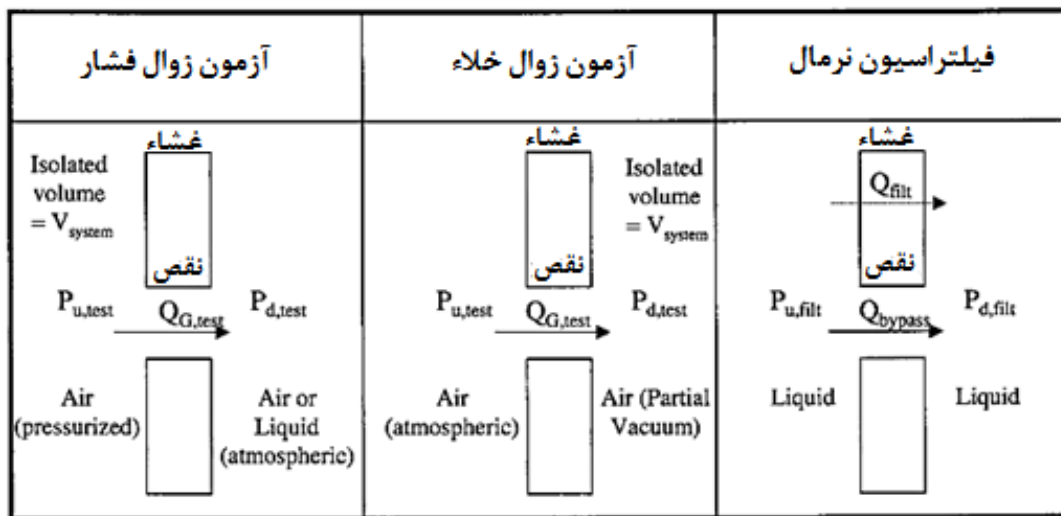
برای ذرات با قطری بیش از حداقل اندازه نقص‌ها (که به وسیله آزمون فشار انتخابی مشخص می‌شود، به بند ۳-۸ مراجعه شود)، با توجه به این که یک غشای سالم دفع کامل را دربر خواهد داشت. بنابراین برای این ذرات $C_{membrane}$ برابر با صفر خواهد بود و C_{bypass} را می‌توان برابر با غلظت ذرات معلق و در چالش با غشا دانست که ما از این به بعد آن را C_{feed} می‌نامیم. در سامانه‌های فیلتراسیون با جریان مستقیم (بن‌بست یا یک‌طرفه) C_{feed} را می‌توان برابر با غلظت ذرات در خوراک آب خام به سامانه غشایی، C_{raw} فرض نمود.

هرچند در مورد سامانه‌های بازچرخشی یا ترکیب‌هایی که غلظت ذرات جامد معلق را در سمت خوراک غشا افزایش می‌دهند (مانند حالت‌های خوراک و تغلیظ‌شده^۱)، C_{feed} می‌تواند به مراتب بزرگ‌تر از C_{raw} باشد. در چنین مواردی C_{raw} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{feed} = CF \cdot C_{raw}$$

که در آن CF یک ضریب غلظت می‌باشد که معمولاً بین ۱ تا بیش از ۲۰ متغیر است. با جایگذاری در معادله الف-۱:

$$LRV = \log_{10} \frac{Q_{filt}}{Q_{bypass} \cdot CF} \quad \text{((الف ۲))}$$



شکل الف-۱- سامانه غشایی تحت شرایط آزمون و فیلتراسیون

از آنجایی که آزمون یکپارچگی غشاء تحت شرایط دما و فشار معلوم انجام می‌گیرد، می‌توان به صورت ریاضی جریان معادل مایع را که از همان عیب‌ها تحت شرایط فیلتراسیون عبور می‌کنند (C_{bypass}) برآورد نمود. سپس با استفاده از معادله (الف-۲) می‌توان برآوردی از LRV برای سامانه را به دست آورد.

استخراج معادلاتی که در ادامه آورده شده‌اند با استناد به شکل (الف-۱) و با فرض جریان آرام (لایه‌ای یا لامینار) برای هوا و مایع از داخل نقص‌های استوانه‌ای انجام گرفته است. PDR یا VDR ابتدا به عنوان نرخ جریان حجمی هوا از داخل نقص‌ها در فشار جو $Q_{G,atm}$ بیان شده است. اگر V_{system} را به عنوان حجم حفره هوا که در PDT تحت فشار و یا در VDT تحت خلأ قرار می‌گیرد، منظور کنیم.

در ابتدای آزمون:

$$P_i V_{system} = P_{atm} V_i$$

1-Feed and Bleed

در انتهای آزمون هوا:

$$P_f V_{system} = P_{atm} V_f$$

که در آن V_i و V_f به ترتیب نشانگر حجم معادل هوا در فشار جو در ابتدا و انتهای آزمون می‌باشند. P_i و P_f نیز به ترتیب فشارهای ابتدائی و انتهایی در حین آزمون هستند.

با تفریق آن‌ها داریم:

$$(P_i - P_f) V_{system} = (V_i - V_f) P_{atm}$$

$$V_i - V_f = (P_i - P_f) \frac{V_{system}}{P_{atm}}$$

با تقسیم دو طرف بر مدت زمان آزمون، t داریم:

(الف-۳)

$$\frac{V_i - V_f}{t} = \frac{(P_i - P_f) V_{system}}{t P_{atm}} \quad ($$

با تعریف PDT:

$$\frac{V_i - V_f}{t} = Q_{G,atm} \quad \text{و} \quad \frac{(P_i - P_f)}{t} = PDR$$

با جایگذاری در معادله (الف-۳) برای PDT:

(الف-۴)

$$Q_{G,atm} = PDR$$

و طبق تعریف برای VDT:

$$\frac{V_f - V_i}{t} = Q_{G,atm} \quad \text{و} \quad \frac{P_f - P_i}{t} = VDR$$

با جایگذاری در معادله (الف-۳) برای VDT:

(الف-۵)

$$Q_{G,atm} = VDR \frac{V_{system}}{P_{atm}}$$

با اصلاح اختلاف در فشارها با استفاده از فشار متوسط از داخل عیب‌ها $Q_{G,atm}$ تبدیل به $Q_{G,test}$ می‌شود.

(الف-۶)

$$\frac{Q_{G,test}}{Q_{G,atm}} = \frac{P_{atm}}{\left(\frac{P_{u,test} + P_{d,test}}{2}\right)}$$

$$Q_{G,test} = Q_{G,atm} \frac{2P_{atm}}{(P_{u,test} + P_{d,test})}$$

گام بعدی تبدیل جریان هوا از درون نقص‌ها تحت شرایط آزمون $Q_{G,test}$ به یک جریان مایع معادل تحت شرایط فیلتراسیون Q_{bypass} می‌باشد. برای اینکار فرض می‌شود که جریان‌های هوا و مایع از قانون هاگن-پویسل برای جریان لایه‌ای در لوله‌های دایره‌ای تبعیت می‌کنند که عبارت است از:

(الف-۷)

$$Q = \frac{\pi d^4 \Delta p}{128 L \mu}$$

که در آن Q نرخ جریان، ΔP افت فشار، و μ گرانیوی یا ویسکوزیته مطلق سیال می‌باشد. پارامترهای d و L قطر و طول لوله نقص را نشان می‌دهند. در این کاربرد، اطلاعاتی از طبیعت یا تعداد نقص‌ها نداریم تا بر اساس آن مقادیر مناسبی برای d و L انتخاب کنیم. اگر فرض کنیم که هندسه نقص در شرایط آزمون و فیلتراسیون یکسان باقی می‌ماند، می‌توانیم از یک ثابت k بجای عبارت هندسی $\pi d^4 / (128L)$ در معادله (الف-۷) استفاده کنیم.

لذا برای آزمون برای هوا:

(الف-۸)

$$Q_{G,test} = k \cdot \frac{(P_{u,test} - P_{d,test})}{\mu_{air}}$$

و برای شرایط فیلتراسیون:

(الف-۹)

$$Q_{bypass} = k \cdot \frac{TMP}{\mu_{water}}$$

با تقسیم معادله (الف-۹) بر معادله (الف-۸) و مرتب نمودن آن داریم:

$$Q_{bypass} = Q_{G,test} \left(\frac{\mu_{air}}{\mu_{water}} \right) \frac{TMP}{P_{u,test} - P_{d,test}} \quad ($$

با قرار دادن معادله (الف-۶) در معادله (الف-۱۰) خواهیم داشت:

(الف-۱۱)

$$Q_{bypass} = Q_{G,atm} \left(\frac{2P_{atm}}{P_{u,test} + P_{d,test}} \right) \frac{TMP}{P_{u,test} - P_{d,test}} \frac{\mu_{air}}{\mu_{water}}$$

$$Q_{bypass} = Q_{G,atm} \frac{\mu_{air}}{\mu_{water}} \frac{2P_{atm}TMP}{(P_{u,test}^2 - P_{d,test}^2)}$$

با تعریف:

$$f_1 = \frac{\mu_{water}}{\mu_{air}} \quad \text{و} \quad f_2 = \frac{P_{u,test}^2 - P_{d,test}^2}{2 P_{atm}TMP}$$

و جایگذاری آن در معادله (الف-۱۱) خواهیم داشت:

(الف-۱۲)

$$Q_{bypass} = \frac{Q_{G,atm}}{f_1 \cdot f_2}$$

که f_1 و f_2 را می‌توان به ترتیب ضرایب اصلاح گرانی و فشار نامید.

با جایگزین کردن معادله (الف-۱۲) در معادله (الف-۲) خواهیم داشت:

(الف-۱۳)

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{Q_{filt}}{CF \cdot Q_{G,atm}} f_1 f_2 \right)$$

با جایگزینی معادله (الف-۴) و (الف-۵) در معادله (الف-۱۳) داریم:

برای PDT:

(الف-۱۴)

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{Q_{filt} P_{atm}}{CF \cdot PDT \cdot V_{system}} f_1 f_2 \right)$$

برای VDT:

(الف-۱۵)

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{Q_{filt} P_{atm}}{CF \cdot VDT \cdot V_{system}} f_1 f_2 \right)$$

فرض جریان لایه‌ای برای هوا و مایع برای تمامی ترکیب‌ها صحیح نمی‌باشد. به‌ویژه برای غشاهای با قطر بیشتر (قطر حفره بیش از ۳۰۰ تا ۴۰۰ میکرومتر) که می‌تواند منجر به خطاهایی در LRV محاسباتی شود. در تمامی روش‌ها برای تعیین رابطه بین نتایج آزمون یکپارچگی و LRV، رابطه باید به‌وسیله آزمون‌های در محل برای غشاء و ترکیب خاص مورد استفاده، صحت‌سنجی شود.

پیوست ب

(اطلاعاتی)

راهنمای به دست آوردن داده‌های اندازه‌گیری باکیفیت و قابل اعتماد از سامانه‌های پایش پیوسته

در «روش د»، تعدادی اطلاعات کلیدی در ارتباط با نصب ابزار، نمونه‌گیری و بررسی داده‌ها وجود دارد که می‌تواند به رسیدن به حساسیت و قابلیت اعتماد برای این فناوری کمک کند. خلاصه‌ای از این اطلاعات در زیر آمده است:

کدورت سنج‌های معمول مانند آن‌هایی که با روش USEPA180.1 سازگار هستند، به دلیل حساسیت پائین توصیه نمی‌شوند ولی کدورت سنج‌های لیزری با حساسیت بالا مناسب هستند (به بند ۱۱-۲ مراجعه شود).

مطمئن شوید که ابزارها در نقاط نمونه مناسب نصب شده‌اند تا از تهیه یک نمونه نماینده و همگن اطمینان حاصل شود. انتخاب نقاط نمونه در جایی که جریان آب تراویده یا فیلترشده تغییر جهت می‌دهد (مانند یک زانویی ۹۰ درجه) توصیه می‌شود (به بند ۱۱-۳ مراجعه شود).

بدنه ابزارها (بدنه حسگرها) باید پیش از به دست آوردن خط مبنا برای تعیین یک حد کنترل بالا (UCL) یا شرایط هشدار، آماده‌سازی شوند. یک خط مبنا پایدار از پایش پیوسته به صورت مقادیر اندازه‌گیری حدی که عاری از جهش‌های پیش‌بینی نشده و تصادفی باشند، نمایش داده می‌شود (به بند ۱۱-۴ مراجعه شود).

روش‌های پایش پیوسته را می‌توان برای هر دو جهت فیلتراسیون منفی و مثبت استفاده نمود. ولی برای کمینه‌سازی تداخل حباب‌ها هر کدام مستلزم نمونه‌گیری مختلف می‌باشند. اطلاعاتی که در ادامه می‌آید می‌تواند به عنوان راهنمایی برای انواع خاصی از غشاءها مورد استفاده قرار گیرد:

سامانه‌های UF، NF و RO بدون شستشوی^۱ معکوس با هوا، کمترین مقدار آماده‌سازی نمونه را لازم دارند. زیرا تولید حباب در حین فرآیندهای شستشوی غشاء حداقل می‌باشد. به طور معمول شستشوی غشاء با جریان معکوس موجب جهش در مقادیر اندازه‌گیری شده نمی‌شود. رعایت پروتکل‌های نمونه‌گیری استاندارد که توسط سازندگان ابزار ارائه می‌شود، کافی است (به بند ۱۱-۳ مراجعه شود).

سامانه‌های MF و UF که فرآیندهای فیلتراسیون در آن از داخل به خارج می‌باشد، اغلب از شستشو با هوا در سیکل فیلتراسیون استفاده می‌کنند. برای این سامانه‌ها، ایجاد حباب و به تبع آن تداخل حباب ممکن است رخ دهد. لذا در این سامانه‌ها می‌توان با استفاده از موارد زیر تداخل حباب‌ها را به حداقل رساند: (۱) مخازن نمونه که می‌توانند تحت فشار قرار گیرند تا از خروج بیشتر گاز جلوگیری شود (به بند ۱۱-۴ مراجعه شود). (۲) برای میرا سازی و متعادل سازی تداخل حباب می‌توان از تله‌های حباب اضافی مانند تله‌هایی که حجم بیشتری دارند استفاده نمود (به بند ۱۱-۴ مراجعه شود). (۳) تجمیع یک سیگنال از شبکه غشائی که بیانگر

¹ Backwash

توقف جریان فیلتراسیون مستقیم است را می توان وارد سامانه واحد (SCADA) یا برنامه ثبت داده ها نمود. تحت این شرایط از داده ها صرف نظر شده و یا ثبت نمی شوند (به بند ۱۱-۴ مراجعه شود). و (۴) در برنامه ثبت داده ها باید یک تأخیر زمانی منظور شود تا از داده های ۲ تا ۶ دقیقه ابتدایی (قابل تغییر توسط کاربر)، بعد از اتمام فرآیند شستشو با هوا چشم پوشی شود تا هوا قبل از شروع مجدد ثبت داده های اندازه گیری - شده، امکان خروج از خطوط نمونه را داشته باشد (به بند ۱۱-۴ مراجعه شود). بسیاری از ابزارها دارای الگوریتم های اندازه گیری می باشند که به کاهش یا حذف تداخل حباب ها کمک می کند (به بند ۱۱-۳ مراجعه شود).

ب-۱ مثال برای محاسبه لوگ کاهش ذرات حاصل از PDT با استفاده از روش H-P

مقدار LRV را برای یک سامانه غشایی با نرخ جریان تصفیه برابر با ۵۰ L/s و فشار داخل غشایی (TMP) ۷۰ kPa محاسبه نمایید. دمای آب برابر با ۲۰ درجه سلسیوس و PDR سامانه نیز در فشار آزمون ۱۰۰ kPa و دمای هوای ۲۷ درجه، برابر با ۲/۵ kPa/min است. سامانه در حالت بن بست کار می کند. از این رو CF=1 در نظر گرفته می شود. گرانیروی آب در دمای ۲۰ درجه و هوا در دمای ۲۷ درجه به ترتیب برابر $1.00 \times 10^{-3} Pa \cdot s$ و $1.84 \times 10^{-5} Pa \cdot s$ می باشد. حجم سامانه تحت فشار در هنگام آزمون PDT برابر با ۴۰۰ لیتر است. ابتدا f_1 و f_2 را محاسبه نمایید:

(ب-۱)

$$f_1 = \frac{\mu_{water}}{\mu_{air}} = \frac{1.00 \times 10^{-3}}{1.84 \times 10^{-5}} = 54.35$$

(ب-۲)

$$f_2 = \frac{P_{u,test}^2 - P_{d,test}^2}{2 P_{atm} TMP} = \frac{(201.3 KPa)^2 - (101.3 KPa)^2}{2 \times 101.3 KPa \times 70 KPa} = 213$$

مقدار LRV را از فرمول ۳ به صورت زیر برآورد کنید:

(ب-۳)

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{Q_{filt} P_{atm}}{CF \cdot PDT \cdot V_{system}} f_1 f_2 \right)$$

$$= \log_{10} \left(\frac{50 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \cdot 101.3 KPa}{1 \times \frac{2.5 KPa}{60} \times 400 \times 10^{-3} m^3} \times 54.35 \times 213 \right) = 4.5$$

توجه کنید که با استفاده از فرمول ۲، فشار آزمون ۱۰۰ kPa معرف یک نقص با حداقل اندازه ۲/۹ میکرون (به صورت محافظه کارانه) می باشد. لذا مقدار LRV ۴/۵ محاسبه شده فوق، حداقل LRV برای ذرات با قطر بزرگتر از ۲/۹ میکرون است.

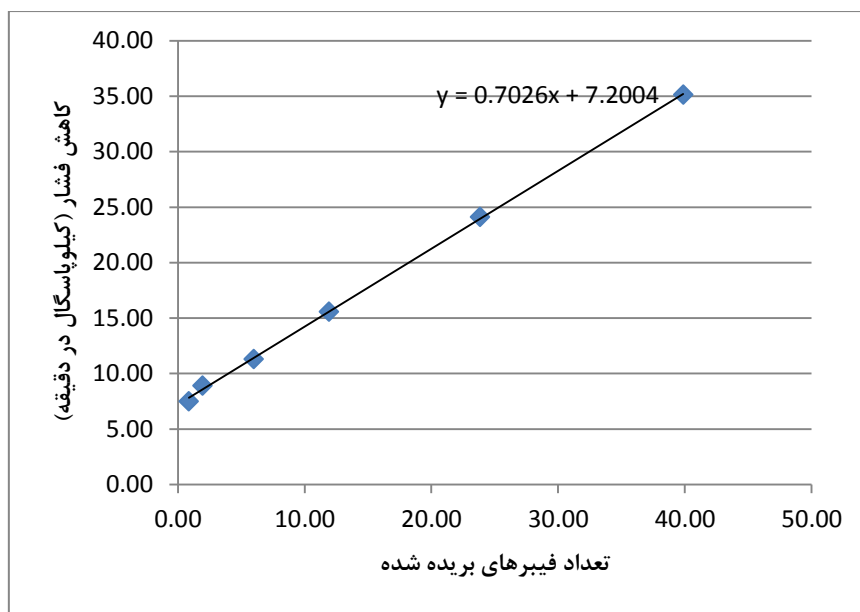
ب-۲ مثال روش تجربی استفاده از تعداد معادل فیبرهای شکسته

در این مثال از داده های ارائه شده در مرجع^۱ Kothari & St.Peter استفاده شده است. که در آن، واحد فیلتراسیون شامل یک دستگاه میکروفیلتر فیبر توخالی با استفاده از غشاهایی با قطر داخلی ۲۵۰ میکرون است. این تحقیق تأثیر تعداد فیبرهای شکسته بر PDR را بررسی کرده است. فیبرها در نزدیکی صفحه نگهدارنده بریده شده اند و فاصله محل بریده شده فیبر از یک انتها ۱۲۵ میلی متر و از انتهای دیگر حدود ۱۰۳۵ میلی متر است. دما برابر ۵ درجه سلسیوس (گرانروی $1.62 \times 10^{-3} Pa.s$) منظور شده و جریان فیلتر شده نیز ۱۲۰۰۰۰ L/h می باشد. در این جا از مجموع ۴۰۰ داده مربوط به فیبرهای بریده شده فقط از نتایج مربوط به ۴۰ عدد فیبر برش خورده، استفاده می شود. زیرا فشار آزمون در این محدوده تقریباً ثابت و به طور متوسط ۱۰۰ kPa بوده است.

جدول ب-۱

تعداد فیبرهای بریده	PDR(kPa/min)	فشار شروع (kPa)
۰	۰/۶۹	۱۰۱/۸
۱	۰/۷۶	۱۰۱/۷
۲	۰/۹	۱۰۱/۶
۶	۱/۱	۱۰۰/۹
۱۲	۱/۵۸	۱۰۰/۳
۲۴	۲/۴۱	۹۸/۴
۴۰	۳/۵۱	۹۵/۸

1- Kothari, H., St. Peter, E., "Utility Perspective on Regulatory Approval for Microfiltration Treatment Facilities in Wisconsin," Proceedings of AWWA Annual Conference, June 11-15 2000, Denver, CO.



شکل ب-۱ مقادیر PDR

گام اول- رابطه بین جریان گاز و فیبرهایی که از صفحه نگهدارنده بریده شده‌اند را تعیین کنید

به این منظور مقادیر PDR درج شده در جدول ب-۱ به صورت نمودار در شکل ۴ ترسیم شده‌اند. شیب خط برازش شده نشان دهنده تغییر افت فشار برای هر فیبر بریده شده و عرض از مبدأ نمودار نیز صرفاً افت فشار ناشی از نفوذ^۱ جریان گاز را نشان می‌دهد (در فشار آزمون ۱۰۰ کیلو پاسکال). گرچه این مقدار را می‌توان از طریق معادله ۵ به میزان جریان گاز تبدیل کرد. ولی در این مثال بهتر است آن را به عنوان PDR در واحد فیبر برش خورده بیان نمود.

گام دوم- نرخ جریان مایع از درون یک فیبر شکسته شده از صفحه نگهدارنده را تعیین کنید

در این مورد نرخ جریان را به طور نظری محاسبه می‌کنیم. هرچند که می‌توان آن را از طریق آزمون نیز تعیین نمود. با استفاده از فرمول (الف-۷) برای جریان لایه‌ای در استوانه‌های توخالی با TMP فیلتراسیون معادل ۵۰ kPa که در آن با منظور کردن هر دو انتهای فیبر، داریم :

(ب-۴)

$$\begin{aligned}
 Q_{L, fiber} &= \frac{\pi d^4 TMP}{128 L \mu} \\
 &= \frac{\pi (250 \times 10^{-6} m)^4 \cdot 50 \times 10^3 Pa}{128 \cdot 1.62 \times 10^{-3} Pa \cdot s} \cdot \frac{1000 L}{m^3} \cdot \frac{3600 s}{h} \cdot \left(\frac{1}{0.125 m} + \frac{1}{1.035 m} \right) \\
 &= 0.095 L/h
 \end{aligned}$$

با محاسبه عدد رینولدز، لایه‌ای بودن جریان تأیید شده و از این رو معادله معتبر است. می‌توان برای افت‌های ورود و خروج مقادیر اصلاحی منظور کرد، هرچند با پایین بودن اعداد رینولدز این اصلاح ناچیز و مقدار محاسبه‌شده در بالا محافظه‌کارانه خواهد بود.

گام ۳- رابطه بین PDR و نرخ جریان نشتی (بای پس) را محاسبه کنید. با استفاده از معادله ۱۱:

(ب-۵)

$$LRV_e = \log_{10} \left(\frac{PDR_{fiber} \cdot Q_{filt}}{PDR_{corrected} \cdot Q_{L,fiber}} \right) = \log_{10} \left(\frac{0.0702 \times 120000 \frac{L}{h}}{PDR_{corrected} \times 0.095 \frac{l}{h}} \right)$$

$$= \log_{10} \left(\frac{88674}{PDR_{corrected}} \right) = 4.95 - \log_{10}(PDR_{measured} - 0.72)$$

LRV های برآورد شده توسط معادله بالا برای تعدادی از فیبرهای برش خورده در جدول زیر آمده است. که در آن LRV های محاسبه‌شده از روش H-P (مطابق آنچه که در ۹-۴-۱ ارائه شده) نیز برای مقایسه آورده شده‌اند. در این مورد اختلاف بین دو روش برآورد LRV اندک (۰/۰۵ تا ۰/۱ لوگ) است. هر چه قطر فیبر افزایش یابد محدودیت فرضیات مورداستفاده در روش H-P نیز بیشتر می‌شود و روش آزمون می‌تواند مناسب‌تر باشد. داده‌های مربوط به تعداد ذرات نیز آورده شده‌اند تا سختی استفاده از روش‌های متعارف کیفیت آب در تأیید یکپارچگی در این سطوح را نشان دهد.

جدول ب-۲

تعداد فیبرهای بریده	PDR(kPa/min)	LRV _e حاصل از روش تعداد معادل فیبر شکسته	LRV _e حاصل از روش H-P	تعداد کل ذرات (counts/ml)
۰	۰/۶۹	-	-	۱/۴۰
۱	۰/۷۶	۶/۳۷	۶/۴۷	۱/۰۷
۲	۰/۹۰	۵/۷۰	۵/۸۰	۷/۵۰
۳	۱/۱۰	۵/۳۷	۵/۴۶	۲/۶۰
۱۲	۱/۵۸	۵/۰۱	۵/۱۰	۳/۰۰
۲۴	۲/۴۱	۴/۷۲	۴/۷۹	۱/۳۰
۴۰	۳/۵۱	۴/۵۰	۴/۵۵	۲/۳۰