معالجة الهواء والماء

Air and water treatment

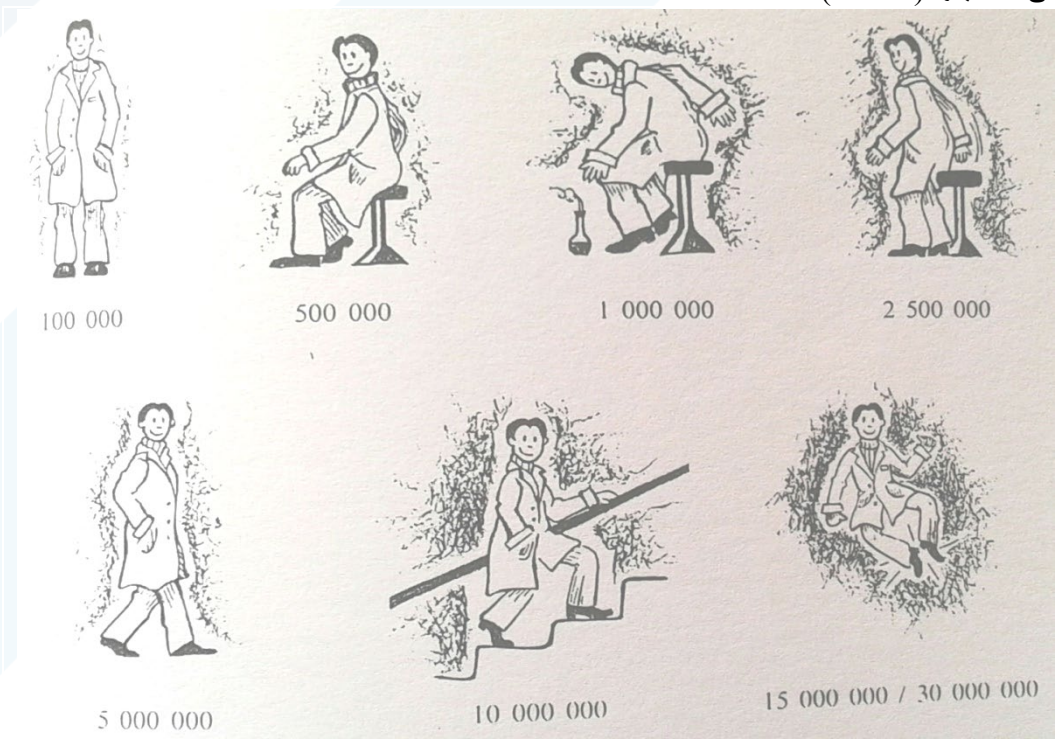
1- معالجة الهواء

ماهو التلوث contamination؟

هناك عدة ملوثات:

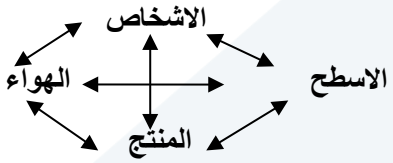
- جسيمية Particulate والتي يمكن ان تكون خاملة مثل الجسيمات الصلبة او القطيرات السائلة أو ان تكون حية مثل العضيات الدقيقة سواء كانت حرة او محمولة
- - كيميائية والتي تكون غازية او سائلة او صلبة

تتنفس من الهواء المحيط عدة ملوثات ذات مصادر مختلفة ومنها ملوثات صناعية, سيارات, او تكون مرتبطة بالاستعمال البشري مثل وسائل التدفئة, او غبار الطلع.....
مصادر الملوثات المصادفة في مناطق الانتاج: الالات واجهزة الكومبيوتر واجهزة الانتاج والاشخاص والتآكلات في اماكن العمل, المواد الاولية.... وبالنتيجة ستتوقف كمية الجسيمات الموجودة في الهواء على المكان الموجودة فيه.
تجدر الاشارة الى ان التواجد البشري يعتبر من مصادر التلوث الهامة لذلك فان عدد الاشخاص الذين يعملون في CR سيؤثر على تصميمها (الشكل 1).



الشكل 1: تأثير التواجد البشري في احداث التلوث

كما يجب الانتباه الى التلوث المتصالب والذي ياتي من الاشخاص والاسطح والمنتج والهواء حيث ا ناي منها يمكن ان يكون مصدر تلوث لذلك يجب الانتباه من قبل الاشخاص لتقليل هذا التلوث.



ومن هنا جاء مفهوم **الغرفة النظيفة Clean Room CR** والتي تعرف بأنها مكان حيث تكون درجة تلوث الهواء معروفة ومتحكم بها. كان اول ظهور لها عام 1960 في الصناعات الالكترونية ثم انتقلت إلى المجال الصيدلاني.
عند تصميم CR يجب الانتباه الى عدد الأشخاص المتواجدين ضمن منطقة الانتاج, نوع الأجهزة والآلات إن كانت تصدر جسيمات وماهي طبيعتها, مستوى نوعية الهواء وفلترته وماهي العملية التي ستجرى.

انظمة وتصنيف فلترة الهواء عالمياً

1- النظام الاميركي: المعيار الفيدرالي 209

له عدة نسخ وكان يعتمد عدد الجسيمات في القدم المكعب حتى النسخة قبل الأخيرة FS 209 D وفي النسخة الأخيرة FS 209 E اعتمد عدد الجسيمات في المتر المكعب الواحد. حسب عدد الجسيمات نجد صفوف Classes لنوعية الهواء: 1-10-100-1000- 10 000 - 100 000 (الجدول: 1). فمثلا الصنف Class 1000 يعني أن المكان المصنف بـ Class 1000 لا يحتوي أكثر من 1000 جسيمة ذات ابعاد أصغر أو مساوية لـ 0.4 ميكرون في القدم المكعب الواحد (او 35300 في المتر المكعب). يتبين من الجدول انه مع نقص الرقم الذي يدل على التصنيف يكون مستوى تركيز الجسيمات المطلوب قليلاً وبالتالي تكون الغرفة المصنفة أكثر نظافة.

الجدول 1: النظام الأميركي للتصنيف حسب عدد الجسيمات

		Nombre maximal de particules en suspension admissible par unité de volume d'air ambiant en fonction de leur taille en µm									
		0,1 µm		0,2 µm		0,3 µm		0,4 µm		0,5 µm	
Classe S.I.	Classe américaine	m³	ft³	m³	ft³	m³	ft³	m³	ft³	m³	ft³
M 1		350	9,91	75,7	2,14	30,9	0,875	10	0,283	-	-
M 1,5	1	1240	35,0	265	7,50	106	3,00	35,3	1,00	-	-
M 2		3500	99,1	757	21,4	309	8,75	100	2,83	-	-
M 2,5	10	12400	350	2650	75,0	1060	30,0	353	10,0	-	-
M 3		35000	991	7570	214	3090	87,5	1000	28,3	-	-
M 3,5	100			26500	750	10600	300	3530	100	-	-
M 4				75700	2140	30900	875	10000	283	-	-
M 4,5	1000							35300	1000	247	7,00
M 5								100000	2830	618	17,5
M 5,5	10 000							353000	10000	2470	70,0
M 6								1000000	28300	6180	175
M 6,5	100 000							3350000	100000	24700	700
M 7								10000000	283000	61800	1750

2- النظام الفرنسي NFX44-101 وNFX44-102

يحدد NFX44-101 3 مستويات: 4000- 400 000 –000 4 000 والتي توافق التصنيفات 100 و10000 و100000 في النظام الاميركي. أما NFX44-102 فيحدد شروط وتصميم CR.

3- نظام ISO

وهو الاكثر استخداما عالمياً وله أصناف من 1 الى 9 والاهم هي: ISO 5 وISO 7 وISO 8 لان لها مقابل في النظام الاميركي والفرنسي: Class 100 و10000 و100000 على الترتيب وهذه التصنيفات توافق ما يلي حسب قواعد التصنيع الجيد GMP (الجدولان 2 و3):

- Class 100 يوافق المستوى A او B حسب GMP
- Class 10000 يوافق المستوى C حسب GMP
- Class 100000 يوافق المستوى D حسب GMP

الجدول 2: نظام ISO للتصنيف

Class	FED STD 209E Equivalent	Maximum concentration limits (particles/m³ of air) for particles equal to and larger than the sizes listed below					
		0.1 micron	0.2 micron	0.3 micron	0.5 micron	1 micron	5 micron
ISO 1		10	2				
ISO 2		100	24	10	4		
ISO 3	1	1,000	237	102	35	8	
ISO 4	10	10,000	2,370	1,020	352	83	
ISO 5	100	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO 6	1,000	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO 7	10,000				352,000	83,200	2,930
ISO 8	100,000				3,520,000	832,000	29,300
ISO 9						8,320,000	293,000

وكل مكان حسب فعاليته يتطلب احتياطات وتصميم مناسب وبالتالي يجب اختيار نوع الفلتر المناسب حسب نوعية المنتج المصنع.

الجدول 3: نظام GMP للتصنيف

	maximum particles/m^3			
Class	At Rest	At Rest	In Operation	In Operation
Particle size NMT	0.5 µm	5 µm	0.5 µm	5 µm
Grade A	3,520	20	3,520	20
Grade B	3,520	29	352,000	2,900
Grade C	352,000	2,900	3,520,000	29,000
Grade D	3,520,000	29,000	n/a	n/a

تصميم CR

تهدف النظم الهوائية الى حماية مناطق الانتاج من التلوث من الخارج نحو الداخل والى الحماية من التلوث العائد للفعاليات الممارسة داخل اقسام الانتاج. للتخلص من التلوث يجب:

- فلترة الهواء
- عزل منطقة الانتاج من الخارج
- التخلص من التلوث ضمن منطقة الانتاج.

فلترة الهواء

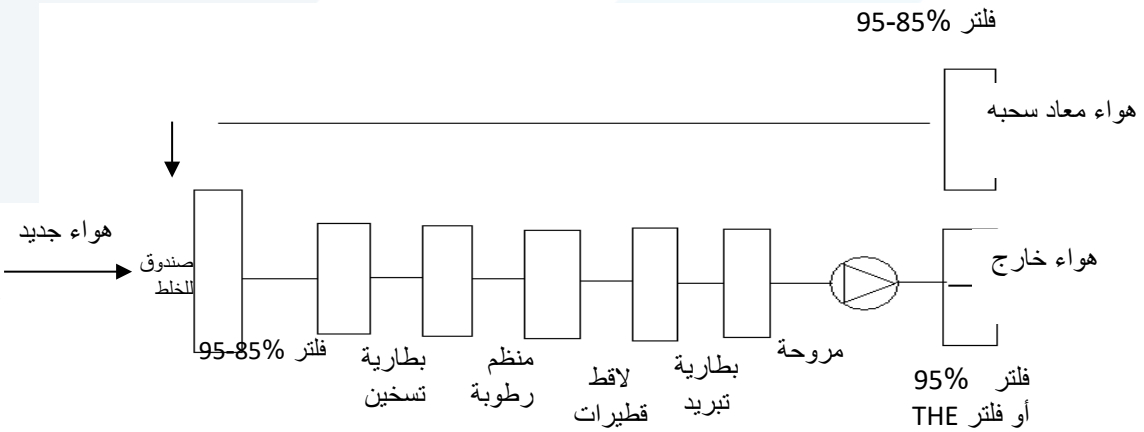
من اجل الحصول على غرفة نظيفة يجب ان تمر الفلترة الفعالة بثلاث مراحل. كما نعلم أن 99.9% من الجسيمات الموجودة في الهواء الجوي ذات ابعاد أصغر من 1 ميكرون لذلك يجب في المرحلة الاولى من الفلترة التأثير على هذه الابعاد لذلك تستخدم فلاتر (مراشح) 85% حيث تسمح هذه الفلاتر من جهة بالتقاط معظم الجسيمات الموجودة في الهواء ومن جهة اخرى تقوم بحماية عناصر مركز معالجة الهواء (بطاريات, مراوح, ساحبات هواء ورطوبة...).

يبين الجدول 4 التالي مراحل الفلترة والهدف من كل مرحلة:

الجدول 4: مراحل الفلترة والهدف من كل مرحلة

مجال الفلترة	الهدف	الفلتر المستخدم	مدة حياة الفلتر (سنة)
1	حفظ اداء التجهيزات وتامين حاجز ضد التلوث	فلتر يخلص من 65 الى 95% مع قيمة مثلى 85%	1
2	حماية شبكة توزيع الهواء حماية الفلاتر النهائية	فلتر يخلص من 85 الى 95% مع قيمة مثلى 95%	3-2
3 و4	ضمان ضخ هواء عالي النقاوة من اجل الوصول للمستوى المطلوب	فلتر يخلص أكثر من 99.99 % من الجسيمات	10-7

يبين الشكل 2 مركز معالجة الهواء مع مراحل الفلترة المطلوبة:



الشكل 2: مركز معالجة الهواء

<u>الفلاتر المطلوبة:</u>

المرحلة الاولى: فلتر 85 عند دخول مركز معالجة الهواء
المرحلة الثانية: فلتر 95 عند الخروج من المركز
المرحلة الثالثة: للتصنيف 1 - 10000 يوضع فلتر HEPA 99.99 قبل الدخول الى CR
من اجل الـ Class 100 وأدنى : توضع الفلاتر في الاسقف وبكل منطقة
من اجل Class 1000 و10000: توضع الفلاتر في الاسقف وتوزع حسب نوع الفعالية المطلوبة.

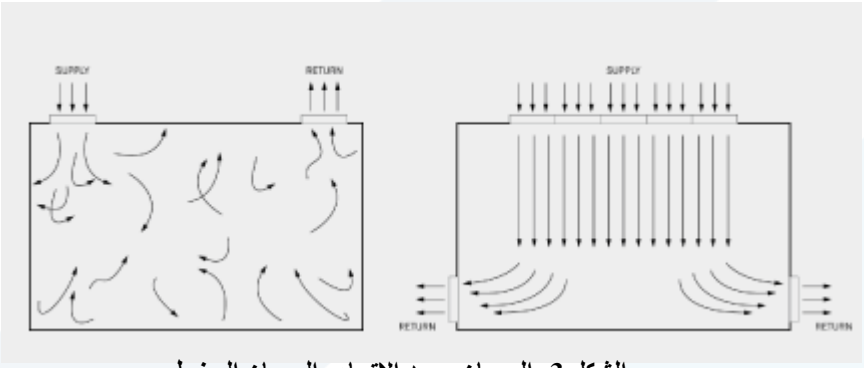
معدل تجدد الهواء هو النسبة بين حجم الهواء الجديد الداخل الى المكان مقدرا بـ م^3/ساعة وحجم المكان م^3. يتأثر هذا المعدل بإحكام اغلاق المكان ومستوى الفلترة المطلوب ونوع الفعالية في المكان وحجم المكان. وأقل قيمة محددة بالتشريعات هي 25 م^3 في الساعة لكل عامل او شخص.

انتشار الهواء

يوجد نموذجان: وحيد الاتجاه اي صفائحي Flow luminaire و هائج او مضطرب او اعاصيري Flow turbulent

في الجريان وحيد الاتجاه (الشكل 3) يكون انتشار الهواء بطريقة مستمرة ووحيد الاتجاه بسرعة 0.45 م/ثا وتكون مسارات الهواء الحركية متوازية ولها نفس الاتجاه والسرعة وعندما تلتقي هذه المسارات بحاجز ما تعود لتتشكل بسرعة بعد تجاوزه.

في الجريان المضطرب (الشكل 3) تكون حركة الهواء متعددة الاتجاهات وتدخل المكان من كل مكان وتكون مسارات الجريان ليست متوازية ولذلك فان التلوث يمكن ان يوجد بكل نقطة من المكان وفي اي لحظة ويمكن ان تتجه الى اماكن التصنيع الحساسة.

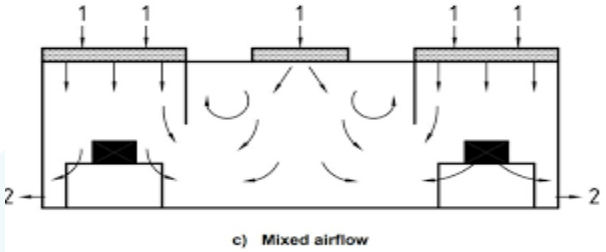


الشكل 3: الجريان وحيد الاتجاه والجريان المضطرب

بشكل عام يستخدم الجريان وحيد الاتجاه سواء افقي او عمودي في اماكن التصنيع ذات التصنيف 1 الى 100 (Class A او حسب نظام ISO: 1 الى 5)

يستعمل الجريان المضطرب للـ Class 1000 الى 100000 (نظافة اقل).

لتقليل مساحة المنطقة ذات التصنيف 100 يستعمل تياران صفائحي وهائج وتسمى عندها غرفة مركبة.



الشكل 4: غرفة مركبة (جريان صفائحي+ مضطرب)

شلال فرق الضغط

عندما تضمن نوعية الهواء الداخل الى CR فمن الخسارة ان يدخل الهواء CR لهذا السبب يجب ان تكون CR واقعة تحت ضغط مرتفع اي ان الهواء سيتحرك من منطقة الضغط الاعلى الى منطقة الضغط المنخفض وبالتالي فالهواء لا يدخل CR.
يكون ارتفاع الضغط في CR بالمقارنة مع قيمة مرجعية وهي الضغط الجوي النظامي.
يكفي لتحقيق الضغط المرتفع ان يكون جريان الهواء الداخل أكبر من جريان الهواء المسحوب, ويتعلق هذا بإحكام اغلاق المكان ومستوى الفلترة المطلوب.
تكون القاعدة العامة: هي تطبيق ضغط عال في المنطقة الاكثر حساسية والضغط الاقل سيكون في المنطقة الاقل حساسية.
يجب ان يكون هناك فرق على الاقل 20 باسكال بين الخارج واول مستوى وعلى الاقل 15 باسكال كفرق بين اي منطقتين متجاورتين.

<u>كيف يمكن الاحتفاظ بفرق الضغوط؟</u>

1- تصنيع منطقة عازلة بين الممر واول منطقة مفلترة مصنفة لضمان مرور الاشخاص والمواد

2- تقليل امرار الاشخاص والآلات الى أدنى حد
3- تأهيل الاشخاص الداخلين الى CR تجنب ترك الابواب مفتوحة وعدم فتح الابواب مع بعضها.

الرطوبة النسبية والحرارة

لاتسمح انظمة معالجة الهواء لإنتاج الهواء بنوعية معينة فقط وانما يجب ان تضمن مستوى الطوبة النسبية ودرجة الحرارة في اماكن التصنيع والانتاج. تتم التدفئة والتبريد باستخدام بطاريات تدفئة وتبريد وتقوم منظمات وشافطات الرطوبة بالتحكم بنسبة الرطوبة النسبية.

يجب ان تحدد الحرارة والرطوبة بحيث تراعى راحة العمال ومتطلبات المنتج المصنع ومتطلبات بعض الاجهزة. كما يجب ان يكون الفرق بين درجة الحرارة المحيطة وامكنة العمل من 5 الى 7 درجات على الاكثر والا لن تكون هناك راحة للعمال.

كلما كان نظام الفلترة صارماً كلما كان جريان الهواء أكثر وكلما كانت التجهزات المخصصة لذلك ضخمة فمثلاً من اجل النظام 100 تكون المساحة التي تشغلها الآلات أكبر بمرتين من مساحة CR نفسها. ومن الضروري ان تكون اماكن تواجد الآلات كبيرة لتسهيل عمليات الصيانة والتنظيف ويجب ان تكون أقرب ما يمكن من CR لتقليل التكلفة.

مراكز معالجة الهواء

يجب أن تكون مضاعفة الجدران وسهلة التنظيف ويمكن الوصول بسهولة الى كل حجرة فيها بواسطة ابواب مدولبة ذات مقابض. يجب ان يتضمن كل مركز: صندوق خلط أو شفط الهواء-علبة الفلترة- أداة التسخين- أداة التبريد- منظم رطوبة- مروحة- كاتم صوت وعلبة فلترة بالمرحلة الأخيرة قبل الدخول الى حجرة التصنيع. يفضل أن يكون كاتم الصوت قبل الفلتر في نهاية المركز حيث انه من الممكن تغيير ترتيب توضع هذه المعدات.

شبكات التوصيل

تسمح بنقل الهواء من المركز الى نقاط الضخ ضمن صالات التصنيع والانتاج ويجب أن تكون بجدران داخلية ناعمة ملساء منظفة وعديمة الشحم قبل التركيب وكذلك يجب أن تكون معقمة ومغلفة لحين التركيب ويجب أن تضمن بعد تركيبها دوران مستمر للهواء ومحكمة الاغلاق (معزولة) مع تواجد مكان للتنظيف والمراقبة كل 15 متر.

من المواد التي تصنع منها: PVC- الفولاذ.

مواصفات CR والمواد المستخدمة في تصنيعها

يجب ان تكون هذه الغرف مصنوعة من مواد محكمة الاغلاق- قوية ومتينة وسهلة التنظيف وسهلة الفك والتركيب.

يجب ان تكون الاسقف مصنعة من ألواح معدنية لسهولة التنظيف ولمقاومتها للمواد الكيميائية عند التطهير.

في الغرف العقيمة يفضل ألا تكون هناك زوايا بين الارض والجدران وانما تكون هذه المناطق مدورة لسهولة التنظيف كذلك ومما يمنع تراكم الاوساخ والعضويات الدقيقة.

يفضل ان تثبت الانوار والفلاتر المطلقة لسهولة تمرير الهواء ويجب الانتباه الى الجوانات لإحكام الاغلاق.

تكون الارضيات متينة وملساء ودون وصلات وسهلة الصيانة وغالبا ما تكون مصنوعة من Epoxy وMipolan.

تطبيقات صناعية صيدلانية

يختلف عدد الجسيمات المسموح بتواجدها في المتر المكعب حسب المواد المطلوب تصنيعها في صالات الانتاج ويبين الجدول التالي المتطلبات الخاصة بكل غرفة حسب المنتج فيها.

الجدول 5: نظم الفلترة في صالات الانتاج

	غرفة انتاج الحقن في مكان عقيم	غرفة الوزن	غرفة تصنيع المضغوطات	غرفة تصنيع المراهم	غرف اللصاقات
نظام الفلترة	المنتج A البيئة المحيطة B	C او D	D	D	D
الرطوبة النسبية	%60-40	%60-25	%60-25	%60-25	%60-40
درجة الحرارة	20±2م	20±2م	20±2م	20±2م	20±2م
فرق الضغط	على الاقل 20 باسكال مقارنة بالاماكن المجاورة	على الاقل 20 باسكال مقارنة بالأماكن المجاورة (اذا لم تكن المادة سامة), واذا كانت سامة يطبق خفض ضغط	على الاقل 20 باسكال مقارنة بالاماكن المجاورة	على الاقل 20 باسكال مقارنة بالاماكن المجاورة	على الاقل 20 باسكال مقارنة بالاماكن المجاورة
انتشار الهواء وسرعته	المنتج Laminar flow vertical بسرعة 0.45 م/ثا البيئة المحيطة جريان مضطرب	0.25 م/ثا الحد الاقصى	0.25 -0.3 م/ثا الحد الاقصى	0.25 -0.3 م/ثا الحد الاقصى	0.25 م/ثا الحد الاقصى
ملاحظات	نوع الفلتر HEPA يخلص من 99.99% (مركز معالجة نمط 1) يكون جريان الهواء 24/24 واثناء العطل يمكن إنقاص جريان الهواء الى النصف	في حال كانت المادة سامة يتم الوزن تحت ساحبة هواء خاصة ويجب ان يكون معدل تجديد الهواء 20 تجديد في الساعة	تجديد الهواء 20 تجديد في الساعة	تجديد الهواء 20 تجديد في الساعة	تجديد الهواء 10 تجديد في الساعة

ملاحظة: مركز معالجة نمط 1 هو مركز يدخل الهواء الخارج منه إلى فلتر HEPA (High Efficiency Paticulate Air)

2- معالجة الماء

يعد الماء أحد أفضل المحلات المعروفة وله قدرة فريدة على الحل بدرجة متفاوتة. حتى أكثر المواد المصنفة "غير قابلة للذوبان" ستنحل بكمية عدة ميكروغرامات في الليتر. وتأتي اهمية الماء من كونه السائل الحيوي في الجسم ولا يفرض مشاكل في الاستخدام البشري او اية مشاكل بيئية او اقتصادية ويتوافق مع معظم المواد الدوائية.

يعتبر الماء الشريب Potable water المصدر الرئيسي للماء المستخدم للأغراض الصيدلانية. يعرف دستور الادوية الاوروبي ماء الشرب بانه الماء المخصص للاستهلاك البشري ونحصل عليه من شبكة التوزيع العامة او بعد المعالجة من السدود..... ويمكن ان يستخدم هذا الماء في المراحل الاولى من الاصطناع كما في تنظيف آلات التصنيع ولا يجب استخدامه ابداً في تحضير الاشكال الصيدلانية او الكواشف...

نقسم الملوثات الشائعة في مياه الشرب إلى سبع فئات رئيسية:

• جسيمات صلبة عالقة (تسبب عكراً للماء وتكون بأبعاد أكبر من 1 ميكرون- تقاس كميتها بمقياس العكر)

• غرويدات (جزيئات تحت الميكرون: 1-0.01 ميكرون- يمكن أن تكون عضوية أو غير عضوية)

•أملاح لا عضوية (الملوث الأهم للماء ويمكن أن تكون من مصدر طبيعي أو بشري ومن أمثلتها: كربونات وبيكربونات Ca وMg – سيليكات- أملاح Al- كلور وفلور- فوسفات- نيترات- سلفات- أملاح الحديد والحديدي- تقاس كميتها بمقياس الناقلية والتي تعطي قيماً مقدرة بـ µS/cm أو بمقلوب الناقلية أي المقاومة Resistivity والتي تكون مقدرة بـ µΩ-cm كما يمكن تحديد قيمتها كـ PPM. للماء المنقى مقاومة نظرية: µΩ-cm18.24 عند 25 م (تقابل: 0.055 µS/cm) وهو صعب الحصول عليه عملياً

• مركبات عضوية مذابة (يمكن أن تكون من مصدر طبيعي أو بشري- مثل: البروتينات, كلورامين, كحولات, ألدهيدات, كيتونات, بقايا المنظفات والمبيدات الحشرية, مواد بلاستيكية - وبما أنها غير مشحونة فهي لاتقاس بمقياس الناقلية وإنما بقياس كمية الكربون العضوي الكلي TOC)

• عضيات دقيقة (تحدد كمية الجراثيم بعدد وحدات المستعمرات Colony Formin Units CFU في 1 مل)

• بيروجينات (يتم الكشف عن البيروجينات بحقن عينة في أرانب تجربة وقياس درجة الحرارة أو باختبار LAL)

• غازات منحلة (مثل CO_2 والذي تحدد كميته بمقياس الناقلية أو المقاومة نظراً لإعطائه شوارد CO_3^{-2}- الماء المنقى حديثاً سيلتقط CO_2 بسرعة وهذا سيؤدي إلى تحميض الوسط $pH \approx 4.5$ والذي تكفي كمية قليلة من CO_2 لتخفض الـ pH إلى هذه القيمة- عادة لايسبب هذا مشكلة ولكن إذا كان المطلوب التخلص منها فإنه يحصل بمبادلات الشوارد ويجب أن يحفظ الماء من التماس مع الهواء).

يعتمد الماء المستعمل اثناء تحضير الأشكال الصيدلانية والمستعمل في الأشكال الصيدلانية النهائية على النقاوة المطلوبة. يميز USP انواع عديدة من الماء ومنها:

1- الماء المستخدم للغسل وللاستخلاص من العقاقير الخام وللعمليات التي تتطلب كميات كبيرة من الماء يستعمل ماء الصنبور المطابق لمواصفات الدستورية USP حيث يجب ألا يحوي هذا الماء أكثر من 0.1% من المواد الصلبة (غالبا بشكل املاح لاعضوية) ويلاقي متطلبات للتشريعات الناظمة للماء القابل للشرب (ليس أكثر من عضية من الشكل المعوي في100 مل)

2- الماء المنقى Purified water هو الماء الذي نحصل عليه بالتقطير أو تبادل الشوارد أو التحال العكوس أو بالفلترة. الماء المقطر حديثاً له pH يساوي 5.6 ويكون للماء المنقى pH يتراوح بين 5 و7 ولا يحوي الماء المنقى أكثر من 10 PPM من المواد الصلبة. يستخدم الماء المنقى اثناء تحضير الأشكال الصيدلانية وفي الأشكال الصيدلانية النهائية ماعدا المستحضرات الحقنية والمستحضرات العينية

3- الماء المخصص للحقن Water for injection: يحمل مواصفات الماء المنقى وايضا يجب أن يكون خاليا من البيروجينات مواد مولدة للحرارة وغير طيارة

4- الماء المعقم المخصص للحقن Sterile water for injection: ماء مخصص للحقن معقم ومعبأ في اوعية وحيدة الاستخدام زجاجية صنف I وII (ويفضل I) ولا تتجاوز سعة 1 ل

5- الماء الموقف لنمو الجراثيم Bacteriostatic water for injection: ماء معقم مخصص للحقن يحوي مادة موقفة للجراثيم. يعبأ ضمن اوعية زجاجية صنف I وII (ويفضل I) وحيدة (لا تتجاوز السعة 5 مل) أو متعددة الاستخدام (لا تتجاوز السعة 30 مل).

نوعية الماء المنقى المطلوبة: لا يجب ان تكون اكبر الناقلية من 4.3 ميكروسيمنس/سم في الدرجة 20م (احياناً 4.7 وحتى 5) ولا يجب ان يتجاوز عدد الجراثيم الحية 100 جرثومة/مل ويجب غياب اي جرثومة ممرضة وخاصة E.Coli.

طرائق تنقية المياه

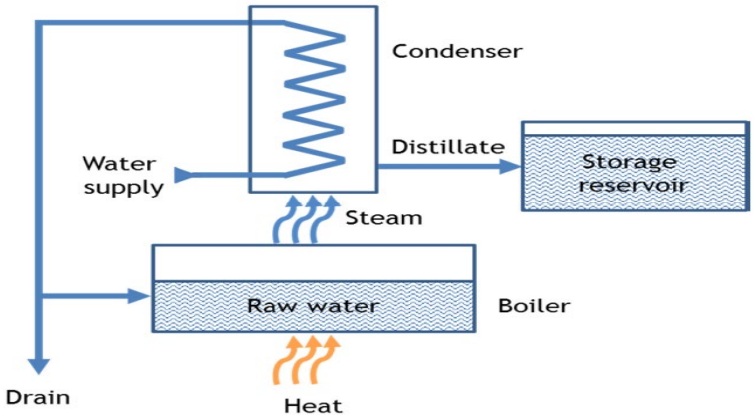
هناك العديد من الطرائق المستخدمة في تنقية المياه من مياه الصنبور الصالحة للشرب ليصبح صالحاً للاستخدام ككاشف مخبري. هنا سوف نركز على خمسة من الأكثر استخدامًا:
التقنيات:

- التقطير
- نزع الشوارد
- الحلول العكوس
- الترشيح
- الأكسدة الضوئية

لكل طريقة قدرات مختلفة من حيث ازالة الملوثات بشكل فعال ولكل منها مزايا وسيئات من حيث التكلفة وسهولة الاستخدام وما إلى ذلك. لا توجد طريقة واحدة مثالية في جميع الظروف ولا توجد طريقة واحدة قادرة على إنتاج ماء عالي النقاوة إذا تم استخدامها بشكل مستقل.

اولاً: التقطير Distillation

التقطير هو تقنية أساسية لتنقية الماء. يتمتع التقطير بقدرة كبيرة على إزالة الكثير من الملوثات. كما أنه متفرد بصفة من حيث ان الماء النقي يستخلص من الملوثات بدلاً من أن الملوثات هي التي تزال من الماء كما هو الحال مع معظم الطرائق الأخرى. يتم غلي الماء الخام المراد تنقيته لإنتاج البخار الذي يتم تغذيته الى المكثف حيث يعود إلى الحالة السائلة وخالياً من الملوثات (الشكل 1). تبقى الملوثات في الماء المغلي ويجب إزالتها بشكل دوري وذلك بإذابتها عادةً في محلول حامضي.
لزيادة النقاوة، يتم استخدام جهاز مزدوج حيث يعاد تقطير الناتج من المرحلة الأولى. يمكن للتقطير المزدوج رفع درجة نقاوة الماء ولكن بحذر يجب جمع ناتج التقطير وتخزينه لتجنب التلوث.



الشكل 1: تنقية الماء بواسطة التقطير

يبين الجدول 1 إيجابيات وسيئات التقطير:

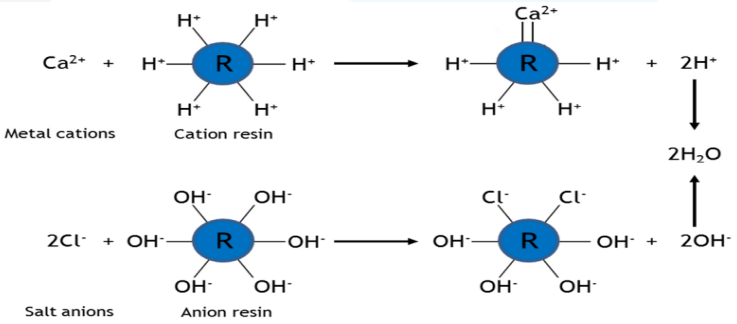
الجدول 1: إيجابيات وسلبيات التقطير في تنقية الماء

الايجابيات	السلبيات
- يزيل كل أنواع الملوثات ماعدا الغازات المنحلة والمواد العضوية ذات درجة الغليان اقل من 100م - قادر على إعطاء ماء عالي النقاوة - بسيط وغير مكلف كتجهيز - مرئي ليس "صندوق اسود" في الطرائق الأخرى - يمكن إعطاء ماء معقم	- استعمال كميات كبيرة من الماء والكهرباء (3 كيلوواط كهرباء لاعطاء 4 ليتر ماء مقطر, وفقط 6% من الماء المستخدم يتم الحصول عليه بشكل مقطر) - يحتاج الجهاز الى صيانة بشكل دوري - يجب انتاج الماء وتخزينه قبل الاستخدام المطلوب وغلا فانه سيصبح عرضة للتلوث من المواد المتحررة من مواد التعبئة او من الهواء وعندها يصبح ملوثاً بالعضيات الدقيقة

ثانياً: نزع الشوارد Deionisation أو Demineralisation أو Ion exchange

عملية كيميائية تزيل الملوثات الشاردية حيث يمر الماء على راتنج مبادل شوارد فتتحد الشوارد الموجبة مع الراتنج وتحرر شوارد الهيدروجين والشوارد السالبة تحرر شوارد الهيدروكسيل ثم تتحد هذه الشوارد المتحررة لتعطي جزيئات الماء (الشكل 2). قديماً كانت الراتنجات تحتوي على راتنجات منفصلة كاتيونية وأنيونية ولكن هذه الراتنجات في الوقت الحاضر أصبحت ممزوجة معاً لتكوين راتنجات مختلطة.

مع استمرار هذه العملية، تتحرر أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل ببطء من الراتنج وإذا لم يتم استبدال الراتنج او اعيد تفعيله فان نوعية الماء المنقى ستصبح غير جيدة.



الشكل 2: تنقية الماء بواسطة مبادلة الشوارد

يبين الجدول 2 إيجابيات وسيئات عملية نزع الشوارد:

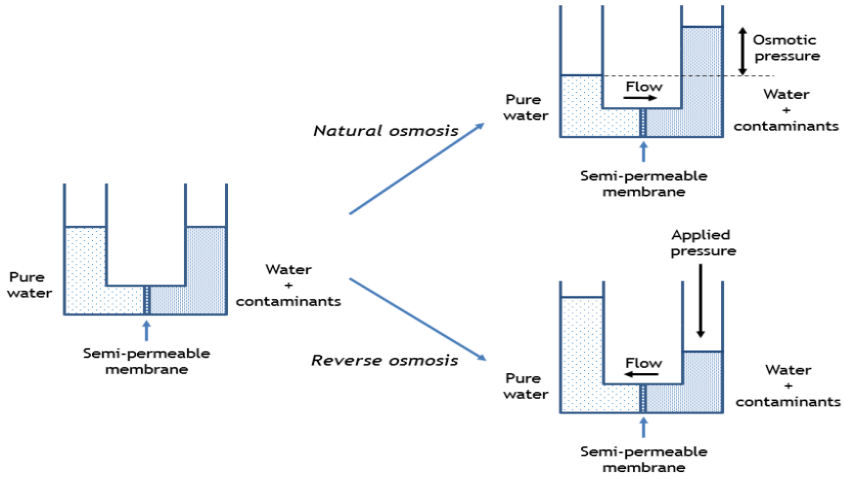
الجدول 2: إيجابيات وسلبيات عملية نزع الشوارد في تنقية الماء

الايجابيات	السلبيات
- يزيل بفعالية الاملاح اللاعضوية فهي الطريقة الوحيدة التي تلاقي متطلبات المقاومة المطلوبة للماء عالي النقاوة Ultra pure - توفير بالطاقة - لايحتاج الى صيانة فقط عند تجديد الراتنج	- ليس فعالاً في إزالة المواد العضوية وهذه المواد بدورها تنقص من عمر الراتنج - للراتنج عمر محدد ويجب استبداله او إعادة تجديده باستمرار وهذا يصبح صعبا عندما يكون الماء قاسياً - نوعية الماء المنقي تنخفض مع اقتراب انتهاء عمر الراتنج - لايزيل الجراثيم او البيروجينات - يمكن ان يحدث نمو جرثومي في الراتنج اذا لم يجبر الماء على المرور ضمنه تحت الضغط - يمكن ان يتلوث الماء من الشوارد المتحررة من الراتنج - اذا لم يكن الضغط كافياً يمكن للماء ان يبقى ضمن قنوات الراتنج وبالتالي قسم من هذا الماء يبقى غير مستخدم مما يحرض نمو الجراثيم

ثالثاً: التحال العكوس Reverse osmosis

من المهم فهم عملية الحلول (او التناضح) نفسها. إذا كان لدينا محلولان: ممدد ومركز, محضران باستخدام نفس المحل، وتم فصلهما بواسطة غشاء نصف نفوذ سيحدث تناضح. ستنتقل جزيئات المحل عبر الغشاء من المحلول الأكثر تمديداً لمحاولة تعديل تركيز المحلول الاكثر تركيزاً. هذا سوف يستمر حتى يتساوى التركيزان ويتوقف بالتالي أي انتقال آخر للمحل. يمكن توضيح ذلك بيانياً من خلال وضع المحلولين الاثنين في أنبوب بشكل حرف U, سيرتفع المستوى في جانب المحلول المركز. اذا تم تطبيق ضغط أكبر من الضغط الاسموزي على المحلول المركز، يمكن للمحل ان يجبر على الانتقال في الاتجاه المعاكس - يُعرف هذا باسم الحلول العكوس (RO) (الشكل 3).

في نظام التناضح العكسي يكون المحلول المركز هو الماء الخام المراد تنقيته ويتم تمريره تحت ضغط مرتفع (عادة < psi60) فوق الغشاء ويمر الماء النقي من خلاله لكن الملوثات تبقى على الغشاء. يُعرف الماء المنقى المنتج بالـ Permeate.



الشكل 3: تنقية الماء بواسطة التحال العكوس

يبين الجدول 3 إيجابيات وسيئات التحال العكوس:

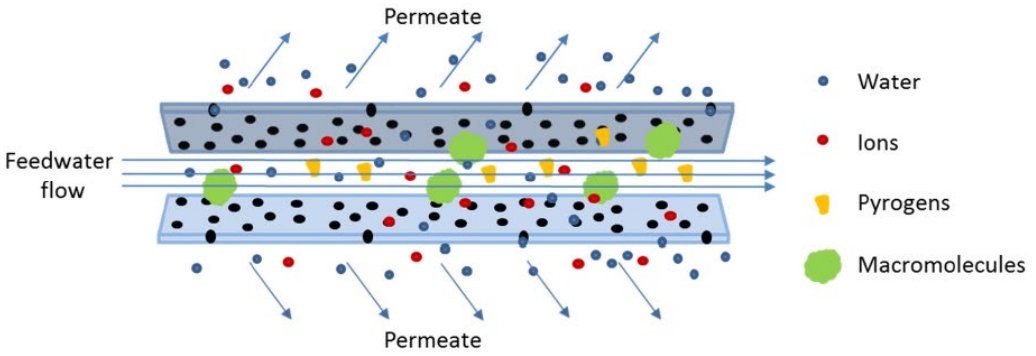
الجدول 3: إيجابيات وسلبيات التحال العكوس في تنقية الماء

الايجابيات	السلبيات
- فعال جداً في إزالة العضيات الدقيقة والبيروجينات والمواد الصلبة المعلقة والغرويدات - جيد لإزالة المواد العضوية عالية الوزن الجزيئي - استهلاك قليل للطاقة - يمكن ان يكون ذا تصميم كبير وبالتالي قادر على تزويد مخابر أخرى بالماء المنقى - لايحتاج الى صيانة بشكل كبير	- يمكن للاغشية ان تنسد او تنكسر بسهولة - يمكن ان تكون الاغشبة غالية حتى يتم استبدالها - ليست فعالة مثل الطرائق الأخرى في إزالة الاملاح المنحلة (تقريباً 90-95%) - يتطلب استخدام مضخات تعطي ضغطاً عالياً للحصول على ماء بنقاوة عالية - الاعتماد على نوعية الماء الخام. حيث ان النسبة غير المزالة من الاملاح 5-10% هي كبيرة بالنسبة للماء القاسي وكذلك يكون الحلول العكوس فعالاً في التخلص من الشوارد ثنائية وثلاثية التكافؤ الكبيرة أكثر من الشوارد وحيدة التكافؤ - اعتماد حجم الماء الناتج على درجة حرارة الماء (حجم اقل للماء البارد) - استهلاك كبير للماء ويجب منع حدوث انسدادات في الغشاء

رابعاً: الترشيح Filtration

تستخدم ثلاثة أنواع من الترشيح (الشكل 4) بشكل شائع في تنقية الماء:

- يستخدم الترشيح الدقيق المسام غشاء بمسام 0.2 ميكرون قادر على إزالة الجراثيم والجسيمات مثل بقايا الراتنج من أعمدة المبادل الأيوني
- يستخدم الترشيح الفائق عادة غشاء بمسام 1-10 نانومتر. هذا قادر على إزالة البيروجينات والجزيئات العضوية الأخرى التي يزيد وزنها الجزيئي عن 10000 دالتون مثل البروتينات
- فلاتر الكربون الفعال تزيل الكلور والكلورامين عن طريق الامتزاز وهي قادرة كذلك على إزالة بعض المواد العضوية المنحلة.



الشكل 4: تنقية الماء وفق الترشيح

يبين الجدول 4 إيجابيات وسيئات الترشيح:

الجدول 4: إيجابيات وسلبيات الترشيح في تنقية الماء

الايجابيات	السلبيات
- حسب حجم المسام فان الترشيح يزيل معظم الغرويدات والانزيمات والعضيات الدقيقة والذيفانات وبشكل فعال - استهلاك قليل للطاقة - ليست بحاجة الى صيانة بشكل كبير - ينقص الكربون الفعال بشكل كبير TOC	- لا تزيل المواد المنحلة العضوية وغير العضوية - يمكن ان تنسد الاغشية - تكلفة الاغشية - يمكن لأغشية الكربون ان تحرر احياناً مواد ناعمة ومنحلة

خامساً: الاكسدة الضوئية Photo-oxidation

تستخدم الأكسدة الكيميائية الضوئية الاشعة فوق البنفسجية الناتجة عن مصباح زئبقي منخفض الضغط لقتل الكائنات الحية الدقيقة ولتأيين العديد من الجزيئات العضوية. تكون غالبية ضوء الأشعة فوق البنفسجية عند 254 نانومتر وهذا يؤدي وظيفة مبيد للجراثيم. ضوء الأشعة فوق البنفسجية المنبعث عند 185 نانومتر لديه طاقة كافية مباشرة لقطع الروابط العضوية ولتوليد جذور الهيدروكسيل التي تتفاعل مع المواد العضوية لتشكيل حموض عضوية وثاني أكسيد الكربون والذي يمكن بعد ذلك إزالتها من الماء عن طريق التبادل الأيوني.

عادة ما تستخدم الأكسدة الضوئية فقط في الأنظمة التي تنتج الماء عالي النقاوة جداً وغالبًا ما يتم وضعها في الحلقة للحفاظ على نقاوة الماء المخزن.

يبين الجدول 5 إيجابيات وسيئات الأكسدة الضوئية:

الجدول 5: إيجابيات وسلبيات الأكسدة الضوئية في تنقية الماء

الايجابيات	السلبيات
- تنقص TOC الى 90% - معالجة فعالة ضد جرثومية	- غير فعالة في إزالة الشوارد والجسيمات والغرويدات - بتحرر CO2 تنقص المقاومة - يتم القيام بها للحفاظ على نقاوة الماء

يبين الجدول 6 فعالية كل طريقة من طرائق تنقية الماء في التخلص من الملوثات:

الجدول 6: فعالية الطرائق المستخدمة لتنقية الماء في إزالة الملوثات المختلفة

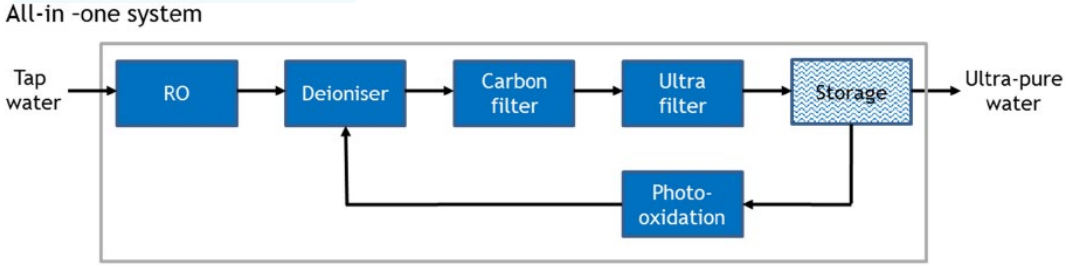
	Distillation	Deionisation	Reverse osmosis
Suspended solid particles	★★★	★	★★★
Colloids	★★★	★	★★★
Dissolved inorganic salts	★★★	★★★	★
Dissolved organic compounds	★★	★★	★★
Micro-organisms	★★★	★	★★★
Pyrogens	★★★	★	★★★
Dissolved gasses	★	★★	★

Key: ★★★ Excellent ★★ Good ★ Poor

الما ء النقي نمط Ultra-pure water I

لا يمكن إنتاج الماء من النوع الأول إلا من خلال مجموعة من الأنظمة ويجب أن تتضمن خطوة الترشيح الفائق مع مرور من خلال مرشح 0.2 ميكرون مسام أو أقل. ان المبادل الشاردي هو النوع الوحيد من المعدات القادر على تحقيق المقاومة المطلوبة للنوع الأول الماء ولكن لا يمكن أن يقترب من المتطلبات الضرورية بخصوص المركبات العضوية المنحلة.

تتوفر أنظمة مخصصة تعتمد على الخراطيش تعمل على تنقية مياه الصنبور إلى النوع الأول القياسي. تتكون هذه الانظمة عادةً من خراطيش RO، مبادل شاردي، وكربون فعال، وخراطيش الترشيح الفائق المثبتة بأي ترتيب لتناسب التوريد على سبيل المثال إذا كان هناك تلوث عضوي مرتفع، فيمكن وضع الكربون الفعال أولاً، في حين أنه إذا كانت نسبة المواد غير العضوية هي العالية فانه يجب وضع مرشح مبادل شوارد أولاً. قد يحتوي النظام على حلقة من اجل الحفاظ على نقاوة الماء المخزن.



ملاحظة هامة: لا يجب أن يبقى الماء ساكناً أو راكداً وذلك لان صفات وخواص الماء تتغير وانما يجب أن يبقى الماء بدوران مستمر بسرعة 1.5 م/ثا ولا يجب أن تقل عن 0.8م/ثا ويجب أن يخزن الماء بدرجة حرارة محددة تمنع نمو الجراثيم اما بإنشاء الحلقة ساخنة 75- 80م أو الحلقة الباردة 4-10 م أو بادرة مع الأوزون وتكون الأنابيب من الفولاذ غير القابل للصدأ.

انتهت المحاضرة