

R.O Design & Specification Problem

By :E.Ahmed Hussien Zaky



Contents

- Water Definition.
- Water Sources.
- Water units.
- Over view of desalination technology.
- Fundamental of reverse osmosis technology.
- Components of R.O Units.
- Calculations of R.O units.

بعض تعريفات المياه.
مصادر المياه الطبيعية.
وحدات مستخدمة في مجال المياه.
نظرة عامة علي تقنيات تحلية المياه.

اساسيات تحلية المياه عن طريق استخدام
عملية التناضح العكسي
مكونات وحدات التناضح العكسي.
المعادلات الحسابية لوحدات التناضح
العكسي.

Utility Team USCE

تعريفات المياه Water definition

- 1-Surface water مياه سطحية
- 2-Sea water مياه مالحة
- 3-Fresh Water مياه عذبة
- 4-Ground water مياه جوفية و ابار
- 5-Disolved salts (TDS) املاح ذائبة (PPM)
- 6-Suspended solids (TSS) مواد صلبة عالقة (mg/l)
- 7- Conductivity التوصيلية الكهربائية (Ms/cm)
- 8-Total Organic Carbon(TOC) المجموع الكلي للكربون العضوي
- 9-Hardness (املاح الكالسيوم والمغنسيوم) العسر
- 10-Alkalinity (تعبّر عن تركيز الهيدروكسيل والكربونات والبيكربونات) القلوية
- 11-Organic Matter المواد العضوية
- (كل المركبات التي تحتوي علي ذرات الكربون باستثناء ثاني اكسيد الكربون ومركبات السيانيد)
- 12-Reverse Osmosis التناضح العكسي.
- نظام يستخدم لتحلية المياه باستخدام ضغط اكبر من الضغط الاسموزي عن طريق اغشية)
- عملية نزع الاملاح من المياه عن طريق التبادل الايوني (التبادل الايوني 13-Ion Exchange مع الريزن)

14- Electro deionization unit وحدات الديزلة الكهربائية

وحدات تقوم بنزع الاملاح من المياه ولكن عن طريق الاقطاب الكهربائية

15-SDI (Silt density index) مؤشر كثافة الطمي

(هي تجربة معملية تستخدم لمعرفة ميل المياه الي حدوث انسداد في الاغشية)

16-Turbidity (NTU) مؤشر لنقاء المياه العفارة

17-Oxidation reduction potential.(ORP) (mv)

- جهاز يقيس الجهد الكهربائي ومؤشر لتركيز المواد المؤكسدة والمختزلة في الماء.

18- Fouling (ترسبات ناتجة عن مواد غير مرغوب فيها علي السطح الصلبة)

...مثل اغشية التناضح العكسي والمبادلات و الخطوط والتربينات و)

19 – Scales (ترسبات املاح الكالسيوم والماغنسيوم والسليكات الصلبة) القشور

Water Resources **موارد المياه**

- **1-Surface water** **مياه سطحية**
- **sea water** **مياه مالحة (25000-50000 PPM)**
- 1-Oceans & sea بحار ومحيطات
- 2-Bays خلجان
- 3-Salt bonds بحيرات مالحة
- **Fresh Water : مياه عذبة (50-1500 PPM)**
- 1-Rivers and streams انهار وجداول
- 2-Ponds and lakes برك وبحيرات
- 3-Conduits ترع وقنوات
- 4-Spill ways مصارف مجاري
- **Ground water.(Wells)** **مياه جوفية وابار**
- **Spring Water.** **مياه ينابيع**
- **Rain and storm:** **مياه امطار وسيول (40-150 PPM)**
-
-

Water

- تقل كثافة الماء كلما زادت درجة الحرارة فالعلاقة عكسية والعكس صحيح.
- إلى أن تصل درجة الحرارة إلى 4°C في الماء العذب فتكون العلاقة طردية كلما قلت درجة الحرارة تقل الكثافة فيرتفع الماء إلى أعلى ويتكون الجليد فوق سطح المياه.
- الماء المالح
- فيحدث نفس العملية التي ان تصل درجة الحرارة إلى -1.9°C فتقل الكثافة كلما قلت الحرارة.

الوحدات المستخدم في مجال المياه: Water units

1-PPM (particle per million) الجزء في المليون

وهي تساوي 1 ميلليجرام لكل لتر وهي تستخدم لقياس كمية الاملاح المذابة في المياه (Mg/l)

2-Ms/cm (Micro Siemens per cm) وهي مقدار التوصيلية الكهربائية

ويستدل بها أيضا على كمية الاملاح المذابة في المياه

$TDS (ppm) = Conductivity (Ms/cm) \times Factor (for each type of water)$

3-1000 Gallon =3.7 M3\h (معدل تصريف)

4-SDI ويتم حسابه عن طريق (مؤشر كثافة الطمي)

$$SDI = \frac{100}{15} (1 - (t_1 - t_2))$$

وتكون اعلي قيمة ممكن ان يتم حسابها 6.66

5- M3 يستخدم في قياس كمية وحجم السوائل

$$1m^3 = 1000 L$$

6-NTU هي وحدة لقياس مقدار العكارة في الماء

Over view of desalination: نظرة عامة علي تقنيات تحلية المياه

- 1- Ion exchange التبادل الايوني
- 2-Distillation (MSF,MED التقطير
- 3-Vapor Compression الضغط البخاري
- 4-Electro Dialysis الديزلة الكهربائية
- 5-Refrigerant Freezing التحلية بالتجميد
- 6- Reverse Osmosis التناضح العكسي

Utility Team USCE

Item	MSF	MED	ED/EDR	RO
Preferred water source	Seawater – brine	Seawater – brine	Brackish	Any
Final product salinity	5 mg/L < TDS < 50 mg/L	5 mg/L < TDS < 50 mg/L	TDS < 500 mg/L	TDS < 500 mg/L
Land usage	Large area	Large area	Small area	Small area
Capital costs	High	High	Medium	Medium
Operating temperature	High (~100°C)	Moderate (~70°)	Not applicable	Not applicable
Energy cost	High	High	Moderate	Moderate
Feed-to-product ratio	7.0-12.0 : 1	6.0-10.0:1	1.2-2.0:1	2.0-2.5:1
Pre-treatment	Not required	Not required	Required	Required
Influent requirement	Not required	Not required	SDI<12	SDI<4
Quality of water produced	Pure	Pure	TDS of 350-500 mg/l	TDS of 20-50 mg/l
Susceptibility to scaling	Low	Low	Low	High
Bacterial contamination	Unlikely	Unlikely	Post-treatment needed	Possible
Waste	High salt content and corrosive	High salt content and corrosive	High salt content	Low salt content

Table 10-3 List of Desalination and Associated Technologies

Technology	Brief Description
THERMAL DISTILLATION	
Multi-Stage Flash evaporation (MSF)	The thermal process by which distillation principles are employed through chambers at slightly different atmospheric pressures to flash liquid water into vapor and immediately condense the vapor in adjacent chambers as product water for use.
Multi Effect Distillation (MED)	The thermal process by which distillation principles are employed through pipes rather than chambers as in MSF. Once evaporation has occurred, water vapor is condensed within tubes (pipes) rather than chambers.
Vapor Compression (VC)	The thermal evaporative process where vapor from the evaporator is mechanically compressed and the heat from the compression activity is used to evaporate additional feedwater. VC is capable of achieving zero-liquid waste discharge requirements, even with very high salt concentrations in the feedwater.

MEMBRANE SEPARATION

Electrodialysis (ED)	This technology uses an electrochemical separation process in which ions are transferred through specially designed ion-exchange membranes by the application of electrical current, leaving desalinated water as the product.
Electrodialysis Reversal (EDR)	This technology uses the same electrochemical principles as electrodialysis, except EDR periodically switches the electrical current flow direction (reversal), which decreases fouling and scaling of the elements.
Reverse osmosis (RO)	RO uses pressure to force water across a semi-permeable membrane from the saline water side to the desalinated product water side, leaving the salts and other impurities behind as brine reject.
Forward Osmosis (FO)	FO is a two-part process. In the first part, a semi-permeable membrane separates the saline feedwater from an artificial "draw" solution of higher salinity. Water is drawn across the membrane out of the saline feedwater and into the draw solution. In the second part, the water is separated from the draw solution, leaving desalted water and regenerated chemicals reusable for new draw solution.
Nanofiltration (NF)	This type of membrane will not remove salt ions but does remove other substances with very small particle sizes. Pores are near to or smaller than 0.001 micrometer (μm). NF may be used in pretreatment stages to RO systems to prevent fouling of the RO membrane.
Ultrafiltration Membranes (UF)	This type of membrane will not remove salt ions but is used to remove larger particles and high-weight dissolved organic compounds, bacteria, and some viruses. Pore sizes range of 0.002 to 0.1 μm . UF may be used in pretreatment stages to RO systems.
Microfiltration membranes (MF)	This type of membrane will not remove salt and is used to reduce turbidity and remove suspended particles, algae, and bacteria. MF membranes operate at lower pressures than the other types of membranes and have pore sizes ranging between 0.03 to 10 μm .

• عن طريق تغيير المادة Phase change methods:

التحلية بالتجميد Refrigerant Freezing

التقطير Distillation (MSF,MED)

• لا يحدث اي تغيير في المادة Non-phase change methods:

– Reverse Osmosis التناضح العكسي

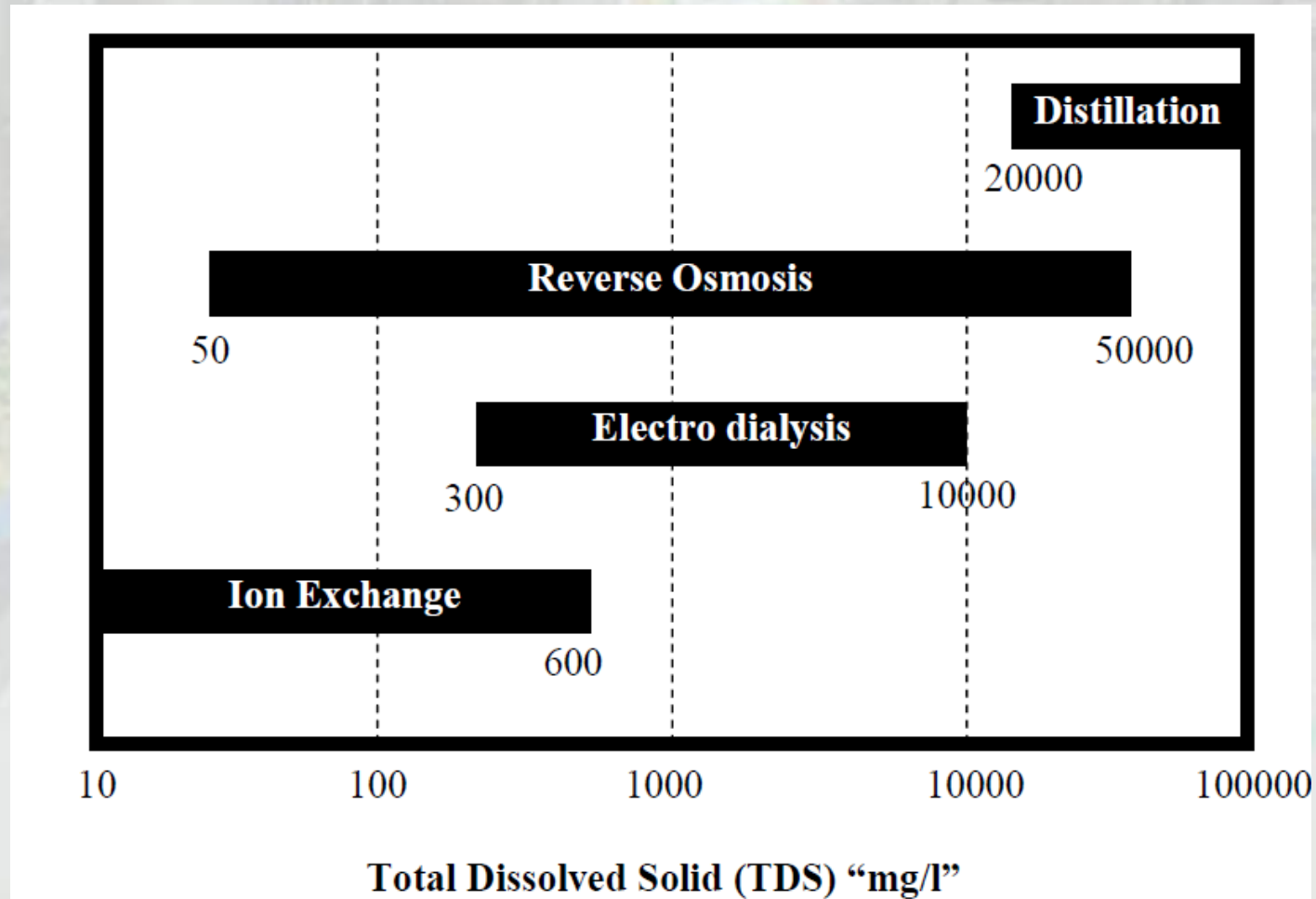
-Electro Dialysis الديزلة الكهربائية

– Ion exchange التبادل الأيوني

Technology	Brief Description
OTHER TECHNOLOGIES	
Ion Exchange	<p>Ion exchange involves the selective removal of charged inorganic species from water by use of an ion-specific resin designed for the feedwater. The surface of the ion exchange resin contains charged functional groups that hold ionic species by electrostatic attraction. As water passes by the resin, charged ions on the resin surface are exchanged for the contaminant species in the water. When all of the resin's available exchange sites have been replaced with ions from the feedwater, the resin is exhausted and must be regenerated or replaced. This process may not reduce TDS but is suitable to soften water and remove specific undesirable chemicals.</p>
Capacitive Deionization	<p>Capacitive deionization is an electrosorption process whereby ions are removed from water by use of an electrical current to force flow. The saline feed flows through electrodes comprised of materials such as carbon-based aerogels. Salt ions are separated in the process and fresh water is developed. This technology is likely suitable for brackish waters, not sea water.</p>
Freeze Desalination	<p>This process relies on thermodynamic properties of water when changing from liquid to solid state (freezing). Ice crystals form as salt water freezes and the salt is expelled in the process. The process requires further innovation to perfect the process of salt separation (washing) from the frozen fresh water without remixing of the salt occurring. Freezing of water at atmospheric conditions requires generally far less energy input (334 kilojoule per kilogram [kJ/kg]) than evaporation (334 to 2,326 kJ/kg), making this a still-promising technology.</p>

Source: Committee on Advancing Desalination Technology 2008

الشكل التالي يبين كيفية اختيار الطريقة المثلى لتحلية المياه بناءً على TDS



عملية التحلية Demineralization Processes

- Selection of specific process depends on:
 - تتم عملية اختيار وحدة التحلية علي هذه الاسس:
 - 1-Mineral Concentration in feed water: تركيز الاملاح في مياه التغذية-
 - 2-Product water quality required: جودة المياه المطلوبة
 - 3-Brine disposal options: كيفية التخلص من المحلول الملحي
 - 4-Pretreatment required: المعالجة الاولية
 - 5-Need to remove other material (bacteria, viruses): الحاجة الي التخلص من المواد الاخرى (البكتريا والفيروسات)
 - 6-Availability of energy and chemicals required for the process: اتاحية وجود مصادر للطاقة والكيمياويات المطلوبة لعملية التحلية.
 - 7-COST: التكلفة

Reverse Osmosis:التناضح العكسي

- Osmosis: الخاصية الاسموزية

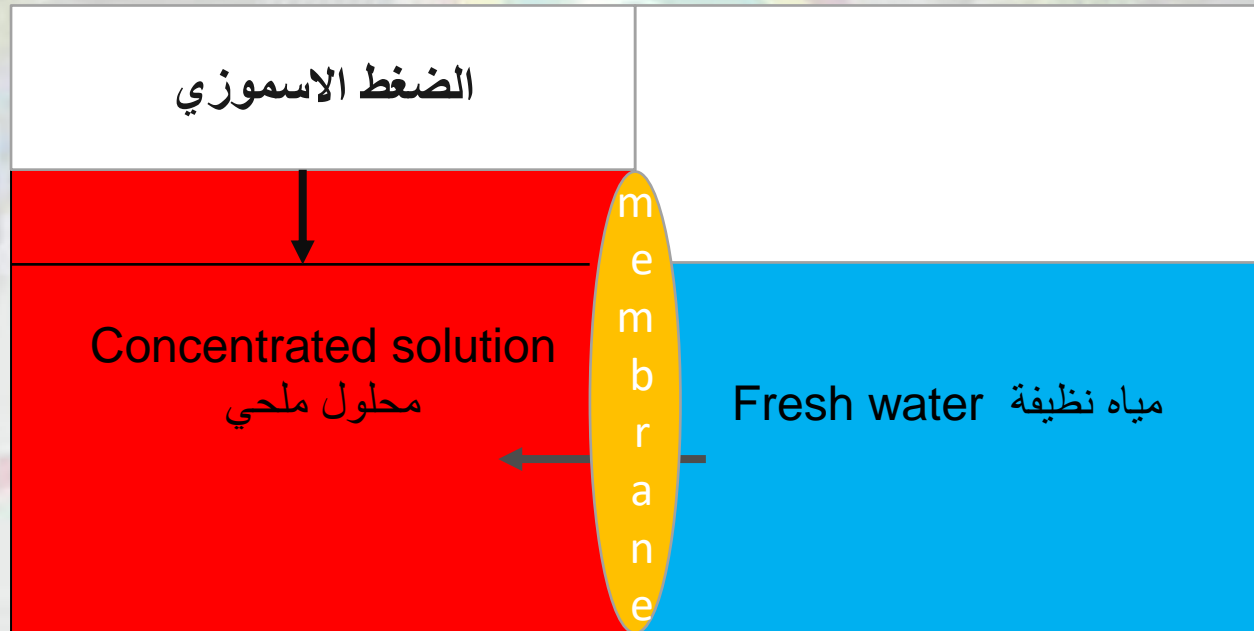
Passage of a liquid from a weak solution to a more concentrated solution across a semi-permeable membrane. The membrane allows the passage of water, but not dissolved solids.

- هو سريان الماء من المحلول الاقل تركيز الي المحلول الاعلى تركيزا من خلال غشاء شبه مسامي ولكن يلاحظ ان الغشاء يسمح برور الماء ولكن لايسمح بمرور الاملاح المذابة.

Osmosis – Normal flow from low to high concentration

سريان التدفق الطبيعي من التركيز الاقل الي التركيز الاعلي
نلاحظ ارتفاع المنسوب في المحلول الملحي عنه في المياه النظيفة نتيجة انتقال المياه من
المحلول الاقل تركيز الي المحلول الاعلي تركيز الي ان يحدث حالة اتزان بين
المحلولين علي جانبي الغشاء.

حيث تكون قوة ارتفاع عمود الماء قادرة علي التغلب علي انتقال الماء اليه من المحلول
الاخر وهو ما تسمى **الضغط الاسموزي**



التناضح العكسي: Reverse Osmosis

- **Reverse Osmosis – Flow reversed by application of pressure to high concentration solution**

- عند القيام بالضغط علي عمود المياه بالجزء الاعلي تركيز افان اتجاه السريان ينعكس من المحلول الملحي الي المحلول المخفف.
- وبالتالي نستنتج ظاهرة التناضح العكسي.

Utility Team USCE

التناضح العكسي: Reverse Osmosis

- عملية فصل الماء العذب عن المحلول الملحي من خلال غشاء شبه نفاذ وذلك بتطبيق ضغط اكبر من الضغط التناضحي للمحلول الملحي . اعلي الضغط الاسموزي

- **Osmosis pressure depend on:**

تعتمد قيمة الضغط الاسموزي علي :

- 1-Total dissolved solids تركيز الاملاح في الماء المالح
- 2-Types of dissolved solids. نوعية الاملاح المذابة
- 3-Temp . درجة الحرارة

- Osmotic Pressure = $1.19 (\text{Temp} + 273) * \Sigma (m_i)$
- m_i = molar concentrations of all constituents in solution

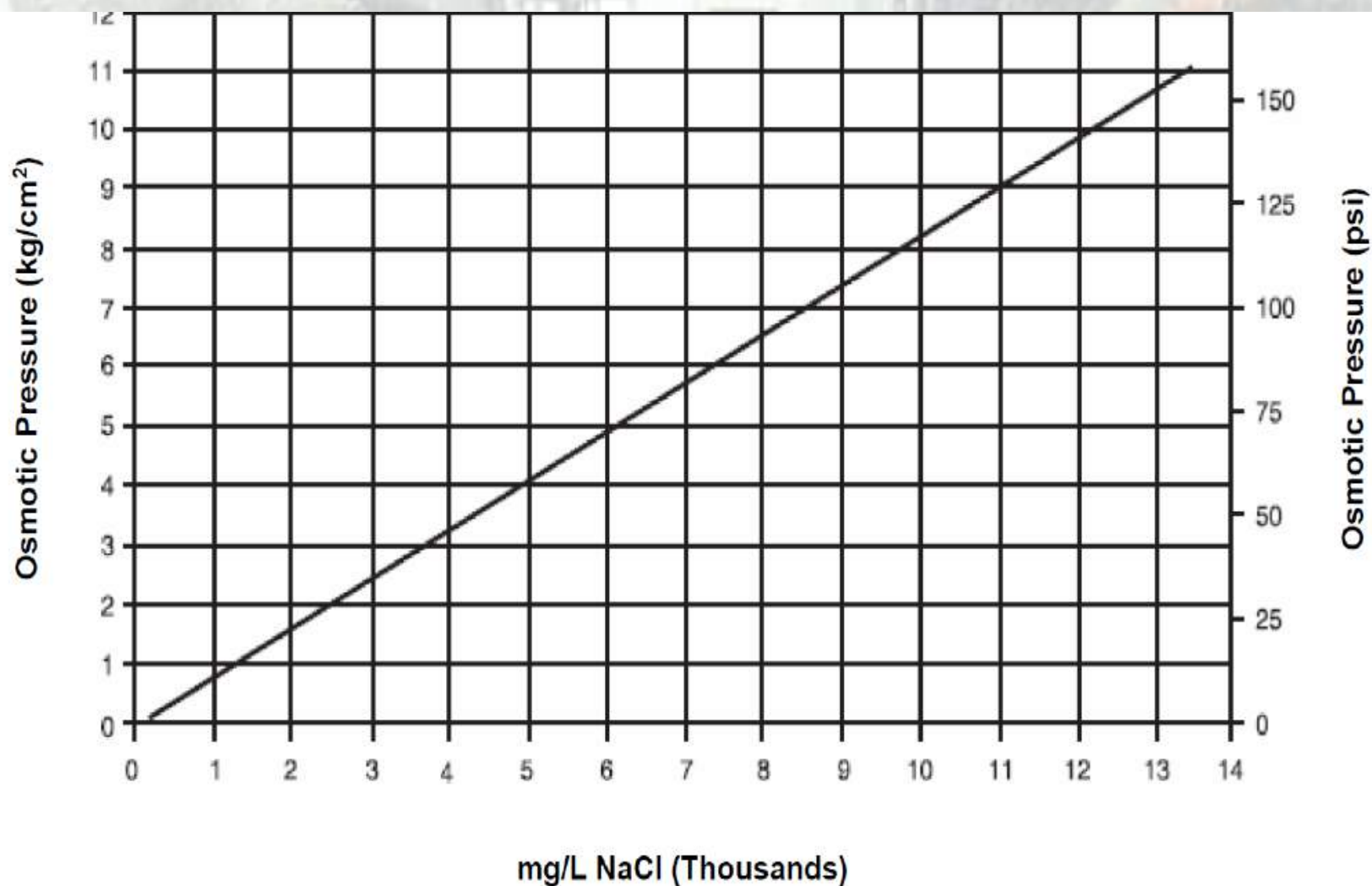
وبتطبيق المعادلة علي عدة محاليل مختلفة في التركيزات وجد ان:

100 ppm TDS \approx 1 psi osmotic pressure

1,000 ppm TDS \approx 10 psi osmotic pressure

35,000 ppm TDS \approx 350 psi osmotic pressure

Utility Team USCE



العلاقة بين تركيز محلول كلوريد الصوديوم والضغط الأسموزي.

Filtration Spectrum” Comparing the rejection capabilities of reverse osmosis with other membrane technologies and with the separation afforded by conventional filtration.

4:27 PM Sat Dec 22

< Notes

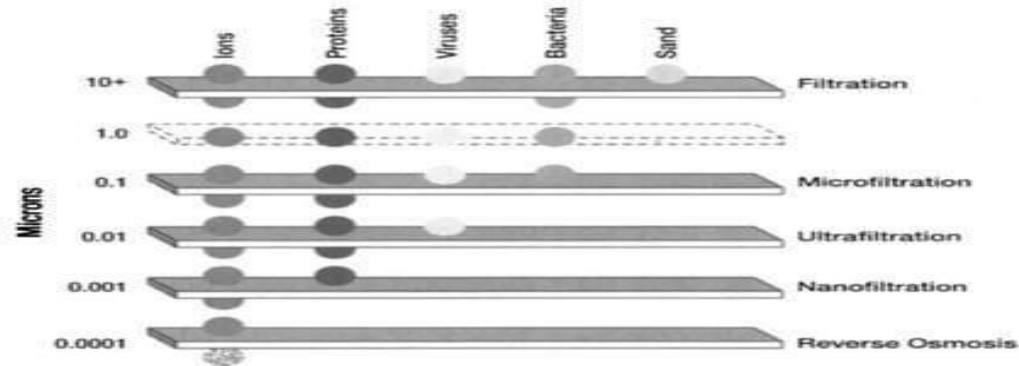


Figure 1.1 “Filtration Spectrum” comparing the rejection capabilities of reverse osmosis with other membrane technologies and with the separation afforded by conventional filtration.

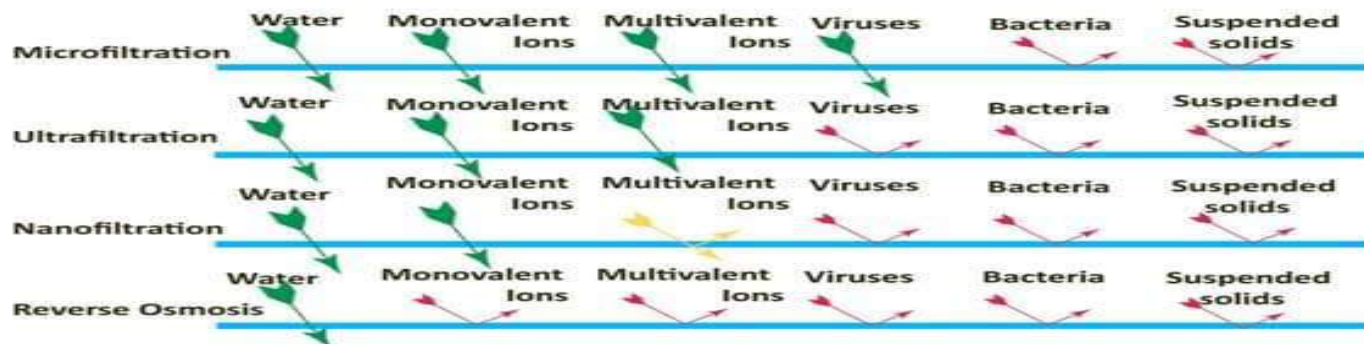


Table 16.5 Rejection of ions exhibited by NF and RO membranes

Source:

Nanofiltration

Reverse Osmosis



Separation Process

Separation Process	Pore size or Max. MW range	Operating pressure (MPa)	Principle of separation	Substances removed
Microfiltration	0.1-10 μ	0.05-0.2	Size exclusion	Bacteria, viruses, larger Colloidal particles, precipitates and coagulates
Ultrafiltration	2–10 nm 1,000–500,000 Da	0.1-0.5	Size exclusion	High molecular weight proteins, large organic molecules and pyroxenes
Nano filtration	2–70 Å, 180-10000 Da	0.3-3	Size exclusion, diffusion exclusion	Large divalent and some Monovalent ions, colorants and odorants
Reverse osmosis	1–70 Å	1–10	Solution diffusion mechanism	All of the above in addition to monovalent ions

Basic Terminology

بعض المصطلحات الخاصة بوحدة R.O

- **Feed Water** التغذية

The amount of water that enters the unit.

- **Permeate** المنتج

The portion of pure water resulting from the unit.

- **Recovery** التغطية

Recovery is defined as the amount of feedwater that is recovered as pure product to the feed water.

كمية مياه التغذية التي تسترد كمنتج نقي.

- Recovery generally ranges from about 50% to as high as 90%, depending on the application. The most common recovery is 75% for most industrial and commercial applications..

- $\text{Recovery}(R) = \frac{\text{permeate flow}}{\text{Feed flow}} * 100 \%$

- **Membrane** الغشاء

The material which separated the concentrated solution from the product and allows only to pure water to pass through.

- **Rejection** الرفض

- Rejection (or salt rejection) is defined as the degree to which a given species is retained by the membrane. It is expressed in terms of percent of feed concentration. The higher the rejection, the more concentrated the product and concentrate streams become.

- يعبر رفض الاملاح عن فاعلية الغشاء لازالة الاملاح من المياه ويعتمد الرفض علي عدة عوامل منها:

- 1- درجة الحرارة.
- 2-تركيب ماء التغذية.
- 3-ضغط التشغيل.
- 4-نوع الغشاء والمواد المصنع منها.
- 5-المعالجة الابتدائية.
- ويمكن ان تحسب من العلاقة الاتية :

- $$\text{Salt rejection} = (1 - \text{product concentrations} / \text{feed concentrations}) * 100$$

- **Salt passage** is opposite of rejection, such that 98% rejection corresponds to 2% passage of the solute in question.
- **Salt Passage=1-Salt rejection.**



- **Flux :**

- Flux is defined as the volumetric flow rate of a fluid through a given area. In the case of RO, the fluid is water and the area is that of the membrane. In the language of RO, flux is expressed as gallons of water per square foot of membrane area per day, (gfd).

- **Flux** = Premate flow (gpm)

- (no of vessels)*(no of element per ves)*(Active membrane area)

- يتم تعريف التدفق على أنه معدل التدفق الحجمي للسائل عبر منطقة معينة وفي حالة التناضح العكسي ، يكون السائل عبارة عن ماء والمساحة هي منطقة الغشاء.

- Recommended flux as a function of influent water source:

Feed water Source	SDI	Recommended Flux gfd
R.O Permeate	<1	21-25
Well Water	< 3	14-16
Surface Supply	< 3	12-14
Surface Supply	< 5	10-12

Utility Team USCE

- because higher flux results in more rapid fouling of the membranes.
- So, the lower the influent water quality, the lower the operating flux of the RO system should be. The table in previous slide shows the recommended flux.
- When in doubt, a default flux of **14 gfd** is usually recommended.

Utility Team USCE

- **SDI** : (Fouling index) ☹️ Silt density index مؤشر كثافة الطمي

• وهو مؤشر على تلوث المياه ومؤشر على كفاءة الفلاتر في حجز المواد التي تتراكم مع الوقت على الأغشية. ويمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$SDI = (1 - T1/T2) * 100/T$$

T1: الزمن الاول لامتلاء 500 مللي لتر:

T2: الزمن الثاني لامتلاء 500 مللي لتر:

T: هو الزمن الذي يتم ترك الجهاز في الخدمة ولا يقل عن 15 دقيقة

- **ORP**: Oxidation reduction potential وهو جهاز يقيس الجهد الكهربائي ومؤشر لتركيز المواد المؤكسدة والمختزلة في الماء وأشهرها الكلورين ... ووحدة قياس الجهاز بالميللي فولت.

Concentration polarization:

As water flows through the membrane and salts are rejected by the membrane, a boundary layer is formed near the membrane surface in which the salt concentration exceeds the salt concentration in the bulk solution. This increase of salt concentration is called concentration polarization. This polarization is reversible and disappears if the gradient of transfer is stopped. طبقة من المياه شديدة

التركيز في الاملاح تكون

Utility Team USCE

Components of R.O Units: مكونات وحدات

التناضح العكسي

- 1-Water Sources. مصادر التغذية.
- 2-Feed Pumps. مضخات التغذية.
- 3-Multimedia filter. الفلاتر متعددة الطبقات.
- 4-Injection systems. انظمة الحقن.
- 5-Cartridge filter. الفلاتر الميكرونية.
- 6-High pressure pump. مضخة الضغط العالي.
- 7-Membranes. الاغشية.
- 8-Drainage of reject. نظام التخلص من المياه المركزة.

• 1-Water Source:

-Surface water مياه سطحية

-Brackish water املاحها (low salinity مياه انهار (منخفضة

-Sea water املاحها (High salinity مياه بحار (مرتفعة

-Ground water مياه جوفية

-Brackish water low قريية من الانهار (مياه انهار (low salinity)

-Brackish Water high قريية من البحر (مياه انهار (high salinity)

Water salinity Classification •

class Name	Class limits (TDS range, in mg/l)
Fresh water	0 to 1000
Brackish water	1000 to 10000
Saline water	10000 to 100000
Brine	more than 100000

- Fresh water - Less than 1,000 ppm
- Slightly saline water - From 1,000 ppm to 3,000 ppm
- Moderately saline water - From 3,000 ppm to 10,000 ppm
- Highly saline water - From 10,000 ppm to 35,000 ppm

Table 10-1 Measurements of Salinity

Salinity Metric	Common Units	Comment
Electrical conductivity (EC)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	EC is a measure of the concentration of dissolved ions in water, and is reported in $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ (micromhos per centimeter) or $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens per centimeter). A μmho is equivalent to a μS . EC may also be called specific conductance or specific conductivity of a solution.
Total dissolved solids (TDS)	mg/L or ppm	TDS is a measure of the all the dissolved substances in water and its units are milligrams per liter (mg/L) of solution.
Practical salinity units (PSU)	Unit-less	PSU is approximately equivalent to salinity expressed as parts per thousand (e.g., salt per 1,000 g of solution). Seawater is about 35 PSU. Its actual measurement is a complex procedure. Oceanographers are likely to use PSUs.

المياه الجوفية	المياه السطحية	
ثبات درجة الحرارة وغالبا _ or + 25	متغيرة باختلاف فصول السنة ويتم تصميم المحطات غالبا عند 25	درجة الحرارة
انخفاض مستوى العكارة SDI	ارتفاع مستوى العكارة SDI	العكارة
انخفاض نسبة TOC	ارتفاع نسبة TOC الحد المسموح به 5ppm. نسبة المخلفات العضوية للكائنات الحية	TOC
تتغير حسب الظروف المناخية	ثابتة	TDS

• مكونات مياه التغذية :

• مواد غير عضوية 1-Non Organic Matter

وهي تشمل علي الشقوق الموجبة والسالبة :

Cation : Ca , Mg , Fe , Mn , Na

Anion : Cl , So4 , Co3 , HCo3

هذه الاملاح المسئولة عن ملوحة المياه وتأثيرها يظهر في:

جزء من هذه الاملاح يظهر قشور في اخر غشاء للوعاء مثل املاح الكالسيوم والماغنسيوم.

وجزاء من هذه الاملاح يحدث Fouling ويظهر في اول غشاء مثل املاح المنجنيز والحديد.

Utility Team USCE

- **2- Organic Matter : مواد عضوية**

هذه المواد المسؤولة عن الاتساخ العضوي Organic fouling ويصعب ازالتها بالغسيل الكيميائي وذلك يتم حقن Coagulant Chlorine, لترسيبها علي الفلاتر الرملية قبل دخول الاغشية.

- **3-Dissolved Gases: غازات ذائبة**

بعض مصادر المياه تحتوي علي غازات ذائبة بنسب متفاوتة :

Oxygen O₂, Chlorine CL₂, Carbon dioxide CO₂

وجود مثل هذه الغازات في مياه التغذية والدخول علي الوحدة قد يسبب مشكلات مثل تفاعل ثاني اكسيد الكربون مع الماء يعطي بيكربونات وايون



- **4 – Partial Material : مواد جزئية**

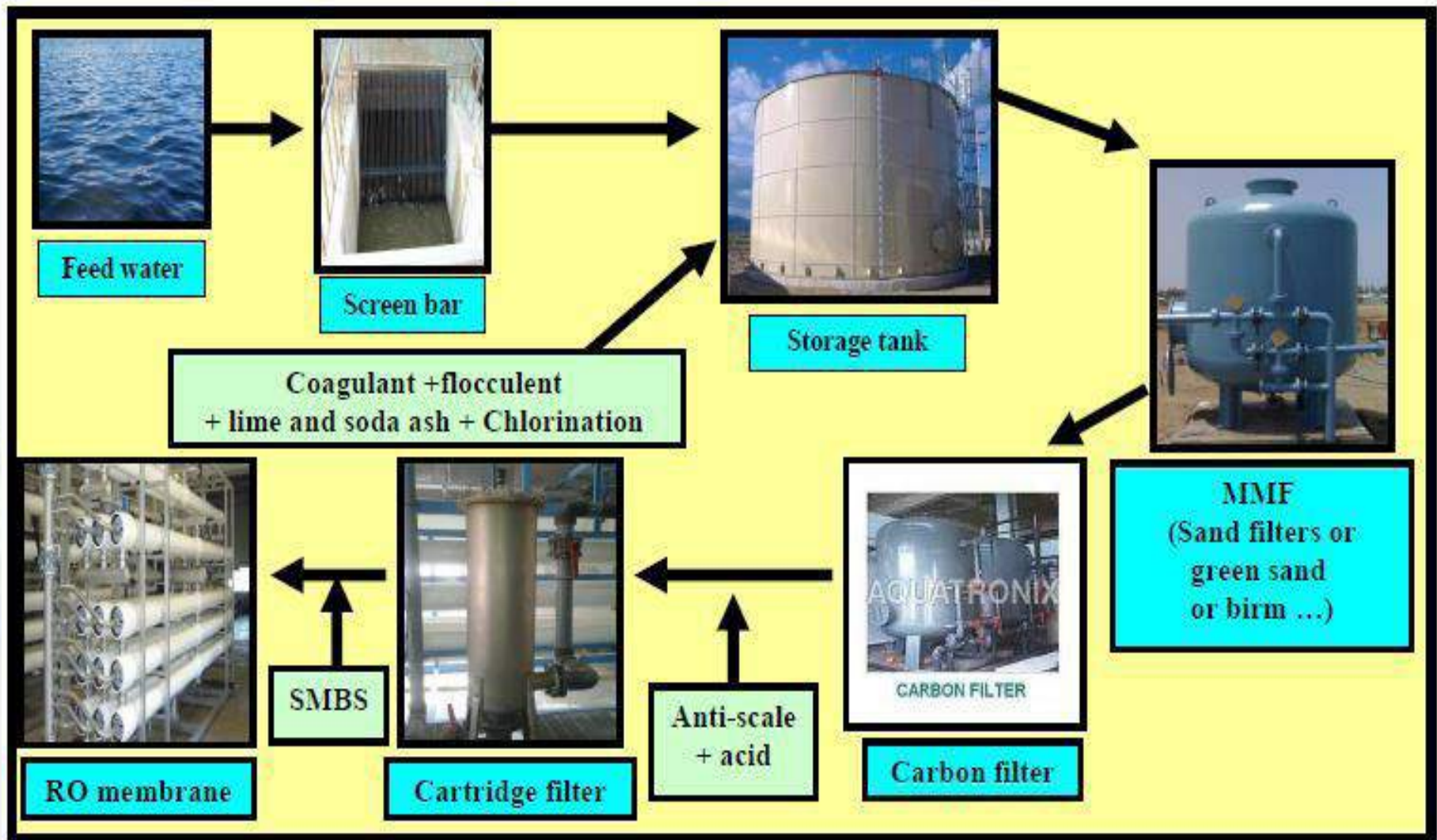
وهي تشمل علي المواد العالقة الكلية TSS والمواد الغروية colloidal

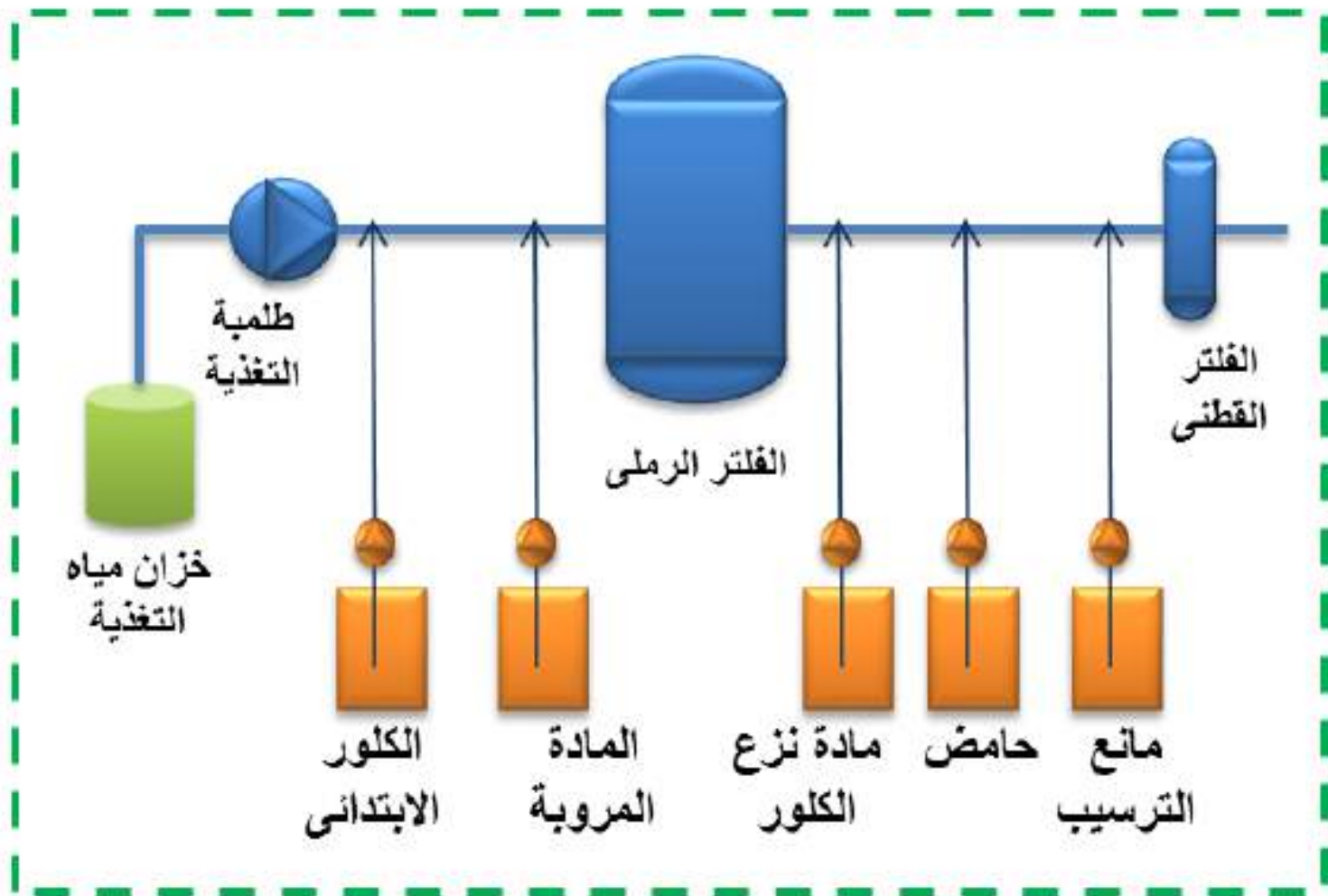
Pretreatment:

- The purpose of the pretreatment system is to adequately and effectively remove foulants from the source water and to secure consistent and efficient performance of the downstream reverse osmosis membranes. The pretreatment system is typically located downstream of the desalination plant's intake facilities and upstream of the reverse osmosis membrane system.
- الغرض من نظام المعالجة الأولية هو إزالة الملوثات من مياه المصدر بشكل كافٍ وفعال وتأمين أداء متسق وفعال لأغشية التناضح العكسي. يقع نظام المعالجة الأولية عادةً في الجزء السفلي من مرافق سحب محطة تحلية المياه وقبل نظام أغشية التناضح العكسي.

Utility Team USCE

المعالجة الاولى





- Components of pretreatment system:

1-Feed pump. طلمبة التغذية.

2-Multimedia filter. فلاتر متعددة الطبقات.

3-Chemical Injection systems. انظمة حقن الكيماويات.

4-Cartridge filter. الفلاتر الخرطوشية.



- تتم المعالجة الاولى علي اساس 4 عوامل:
- كلما زادت المواد العالقة (TSS) او العكارة Turbidity او قيمة SDI كلما اضطررنا الي اضافة المزيد من طرق المعالجة المختلفة.
- وجود زيوت او طحالب.
- حدوث طفرات للعكارة من وقت لآخر.

والجدول التالي يوضح المعاملات وقيمها والتي علي اساسها يتم اختيار المعالجة الاولى.

Utility Team USCE

Source Water Quality Parameter	Pretreatment Issues and Considerations
Turbidity, NTU	Levels above 0.1 mg/L are indicative of a high potential for fouling. Spikes above 50 NTU for more than 1 h would require sedimentation or dissolved air flotation treatment prior to filtration.
Silt density index (SDI ₁₅)	Source seawater levels consistently below 2 all year round indicate that no pretreatment is needed. An SDI greater than 4 indicates that pretreatment is necessary.
Total suspended solids, mg/L	Needed to assess the amount of residuals generated during pretreatment. It does not correlate well with turbidity beyond 5 NTU.
Chlorophyll a	Indicative of algal bloom occurrence. If water contains more 0.5 µg/L, the source water may be in an algal bloom condition.
Algal count, cells per milliliter	Indicative of algal bloom occurrence. If water contains more than 2000 cells per milliliter, the source water is in an algal bloom condition.

فلتر الطبقات المتعددة Multi media filter

- تكون من جسم اسطوان كبير يوجد بداخله طبقات متعددة من الزلط و الرمل و الكربون النشط تمر عليها المياه من الأعلى إلى الأسفل فتحجز الشوائب و العوالق الكبيرة الموجودة في المياه فتخرج المياه من الأسفل نقية من الشوائب.
- - يستخدم الزلط مختلف الأحجام كطبقة تثبيت لطبقات الفلتر في ما يستخدم الرمل مختلف الأحجام الصغيرة و المتوسطة لحجز الشوائب و يستخدم الكربون النشط في إزالة الروائح و الكلور من المياه.
- يختلف حجم الفلتر متعدد الطبقات حسب كميات المياه المطلوب تدفقها داخله و خارجه و تكون غالبا من المعدن المبطن أو الفايبر جلاس و يوجد فلاتر رملية فقط و كربون فقط و الاثنان مع و تصل درجة تنقيته إلى 20 ميكرون وفقا لحجم الطبقات.

الاسم	الرقم
فتحة خدمة علوية	1
فتحة دخول المياه للفلتر	2
طبقة فحم انثرايثيت	3
طبقة رمل ناعم	4
طبقة رمل خشن	5
فتحة خروج المياه من الفلتر	6
طبقة داعمة من الحصى	7
فواني الفلتره	8
فتحة خدمة سفلية	9



الوسط	الحجم المثالي للحبوب الفعالة ، مم	الكثافة النوعية	معامل التوحيد
حجر خفاف	2.0-0.8	1.2(75)	1.8-1.3
انثرسايت	2.0-0.8	1.7-1.4 (104-87)	1.8-1.3
رمل	0.8-0.4	2.65-2.60 (165-162)	1.6-1.2
جرانيت	0.6-0.2	4.3-3.5 (268-218)	1.8- 1.5

خصائص وسائط الترشيح النموذجية

يتم تصميم عمق الرمال في الفلاتر الرملية حوالي 80 سم كحد ادني اما في الفلاتر متعددة الطبقات يكون حوالي 50 سم وارتفاع الانثراسيت حوالي 30 سم .

مقاس الفيزل	الإستخدام	فلتر المالتى ميديا	الفلتر الرملى	الفلتر الكربونى	فلتر إزالة الحديد والمنجنيز	السوفتر
10" * 54"	25 كجم زلط 25 كجم رمل 7.5 كجم أنتراسيد	25 كجم زلط 50 كجم رمل	25 كجم زلط 50 كجم رمل	25 كجم زلط 15 كجم كربون	25 كجم زلط 1 قدم ميديا	50 لتر ريزن
13" * 54"	35 كجم زلط 35 كجم رمل 15 كجم أنتراسيد	35 كجم زلط 80 كجم رمل	35 كجم زلط 80 كجم رمل	35 كجم زلط 25 كجم كربون	35 كجم زلط 1.5 قدم ميديا	70 لتر ريزن
14" * 65"	60 كجم زلط 60 كجم رمل 22.5 كجم أنتراسيد	50 كجم زلط 125 كجم رمل	50 كجم زلط 125 كجم رمل	50 كجم زلط 35 كجم كربون	50 كجم زلط 2.5 قدم ميديا	100 لتر ريزن
16" * 65"	85 كجم زلط 85 كجم رمل 30 كجم أنتراسيد	75 كجم زلط 175 كجم رمل	75 كجم زلط 175 كجم رمل	75 كجم زلط 45 كجم كربون	75 كجم زلط 3.5 قدم ميديا	150 لتر ريزن
18" * 65"	100 كجم زلط 100 كجم رمل 37.5 كجم أنتراسيد	100 كجم زلط 200 كجم رمل	100 كجم زلط 200 كجم رمل	100 كجم زلط 60 كجم كربون	100 كجم زلط 4.5 قدم ميديا	175 لتر ريزن
21" * 62"	125 كجم زلط 125 كجم رمل 45 كجم أنتراسيد	125 كجم زلط 250 كجم رمل	125 كجم زلط 250 كجم رمل	125 كجم زلط 75 كجم كربون	125 كجم زلط 5.5 قدم ميديا	200 لتر ريزن
24" * 72"	200 كجم زلط 200 كجم رمل 67.5 كجم أنتراسيد	200 كجم زلط 350 كجم رمل	200 كجم زلط 350 كجم رمل	200 كجم زلط 100 كجم كربون	200 كجم زلط 7 قدم ميديا	325 لتر ريزن
30" * 72"	275 كجم زلط 275 كجم رمل 112.5 كجم أنتراسيد	275 كجم زلط 500 كجم رمل	275 كجم زلط 500 كجم رمل	275 كجم زلط 150 كجم كربون	275 كجم زلط 12 قدم ميديا	500 لتر ريزن
36" * 72"	400 كجم زلط 400 كجم رمل 150 كجم أنتراسيد	400 كجم زلط 750 كجم رمل	400 كجم زلط 750 كجم رمل	400 كجم زلط 225 كجم كربون	400 كجم زلط 16 قدم ميديا	700 لتر ريزن
48" * 72"	700 كجم زلط 1400 كجم رمل 262.5 كجم أنتراسيد	700 كجم زلط 1350 كجم رمل	700 كجم زلط 1350 كجم رمل	700 كجم زلط 400 كجم كربون	700 كجم زلط 29 قدم ميديا	1225 لتر ريزن
63" * 67"	750 كجم زلط 750 كجم رمل 375 كجم أنتراسيد	750 كجم زلط 1350 كجم رمل	750 كجم زلط 1350 كجم رمل	750 كجم زلط 525 كجم كربون	750 كجم زلط 34 قدم ميديا	1600 لتر ريزن
63" * 86"	1200 كجم زلط 1200 كجم رمل 600 كجم أنتراسيد	1200 كجم زلط 2500 كجم رمل	1200 كجم زلط 2500 كجم رمل	1200 كجم زلط 725 كجم كربون	1200 كجم زلط 50 قدم ميديا	2400 لتر ريزن
63" * 116"	1800 كجم زلط 1800 كجم رمل 750 كجم أنتراسيد	1800 كجم زلط 3000 كجم رمل	1800 كجم زلط 3000 كجم رمل	1800 كجم زلط 1000 كجم كربون	1800 كجم زلط 67 قدم ميديا	3300 لتر ريزن
63" * 144"	2200 كجم زلط 2200 كجم رمل 900 كجم أنتراسيد	2200 كجم زلط 3750 كجم رمل	2200 كجم زلط 3750 كجم رمل	2200 كجم زلط 1300 كجم كربون	2200 كجم زلط 83 قدم ميديا	4200 لتر ريزن

• يمكن تصميم الفلاتر الرملية الي نوعين :

• فلاتر الضغط. **Pressure Filtration.**

ويكون فيها ضغط التشغيل يتراوح من 2 الي 4 بار, ويحتاج هذا النوع الي طبقة عالية من الرمال بحيث تكون حبيباتها ناعمة حيث تعطي معدل ترشيح عالي, ويصمم الفلتر علي معدل سريان من 10 الي 12 م/ ساعة والغسيل العكسي بمعدل 30 الي 36 م/ ساعة حيث يقل معدل السريان بارتفاع الاتساخ داخل الفلتر.

• فلاتر الجاذبية. **Gravity Filtration.**

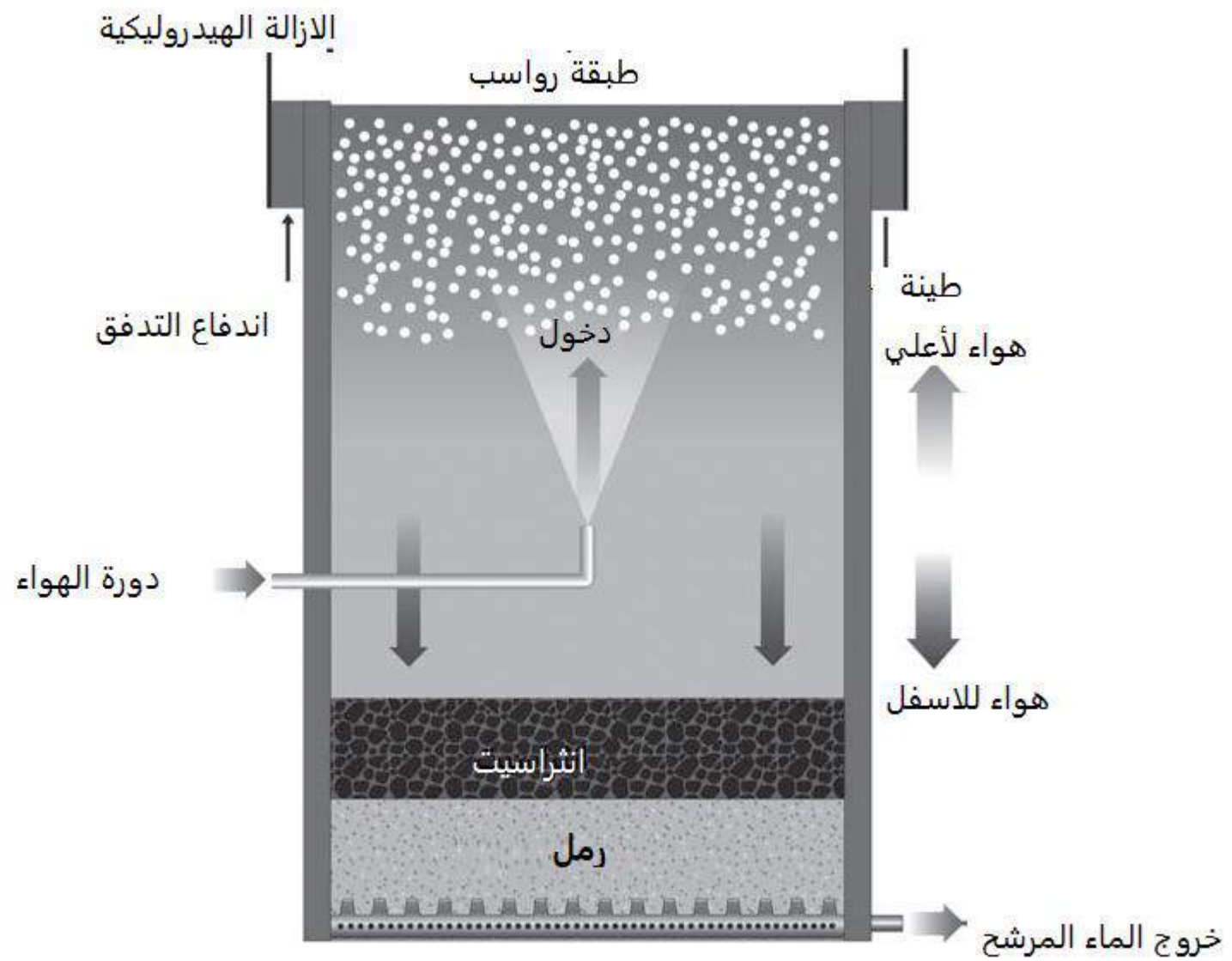
• يكون فيها ضغط التشغيل منخفض نسبيا عن فلاتر الضغط وتتميز بان لها قدرة عالية علي التخلص من الطحالب من مياه البحر المالحة.

Filters Combined with Dissolved Air Flotation

Clarifiers: فلاتر مقترنة بمروقات تعويم الهواء المذاب

- في الحالات التي يحتوي فيها مصدر المياه على كمية كبيرة من جسيمات الطحالب و / أو الزيت والشحم ، وتكون المساحة كبيرة ، يمكن دمج عمليات التعويم بالهواء المذاب (DAF) وعمليات فلاتر الوسائط الحبيبية في هيكل واحد يحتوي على مروق ال DAF الموجود فوق خلية الفلتر.

Utility Team USCE



Parameter	Concentration/Level
Turbidity (daily average/maximum), NTU	< 0.1/0.5
Silt density index	< 3 (at least 95 % of the time) < 5 (at all times)
Total organic carbon, mg/L	< 1
PH (minimum/maximum)	4.0/9.0
Oxidation-reduction potential, mV	< 200
Chlorine residual, mg/L	≤ 0.02
Total hydrocarbons, mg/L	≤ 0.04

الحد الأدنى لجودة مياه المعالجة الأولية

الفلاتر الخرطوشية: Cartridge filter

- Cartridge filters are fine micro filters of nominal size from 1 to 25 micro meter made of thin plastic fibers or other fine filtration media that is installed around a central tube to form standard-size cartridges.

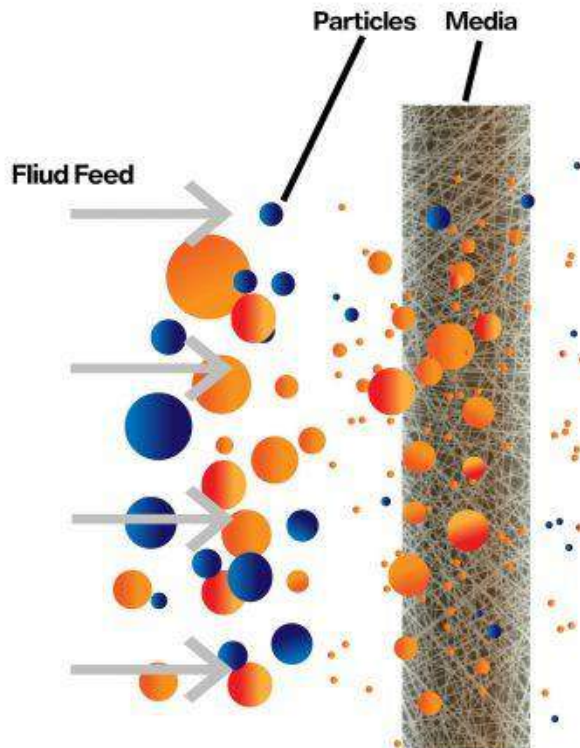
• الفلاتر الخرطوشية عبارة عن فلاتر دقيقة صغيرة الحجم من 1 إلى 25 ميكروميتر مصنوعة من ألياف بلاستيكية رفيعة أو وسائط ترشيح دقيقة أخرى مثبتة حول أنبوب مركزي لتكوين خرطيش ذات حجم قياسي.

What are two types of cartridge filter:

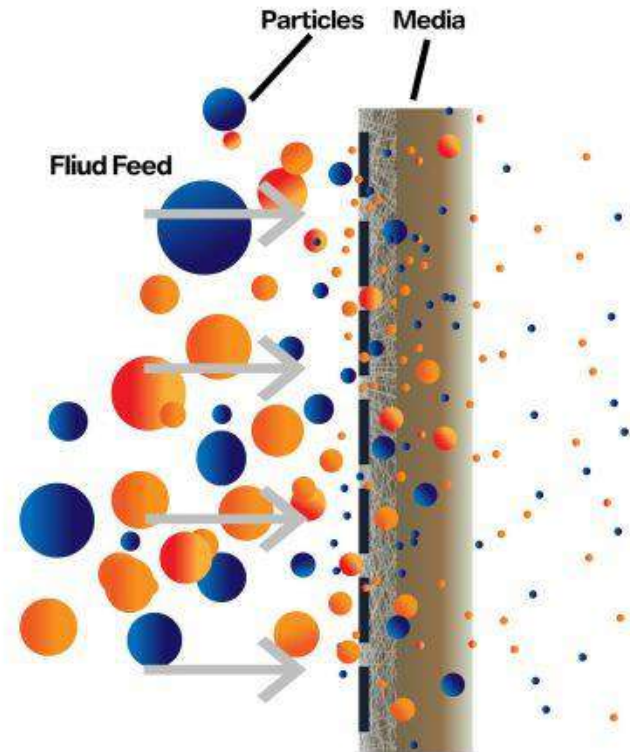
1- Depth Filtration. الترشيح العميق

2-Surface Filtration. الترشيح السطحي

Depth Filtration



Surface Filtration



- **Cartridge filter** can be **surface** or **depth-type filter**: **Depth-type filters** capture particles and contaminant through the total thickness **of** the medium,

- التقاط الجسيمات والملوثات من خلال السماكة الكلية للوسط.

- while in **Surface filters** (that are usually made **of** thin materials like papers, woven wire, cloths) particles are blocked on the **surface of the filter**.

- التقاط الجسيمات والملوثات من خلال السطح الخارجي فقط.

Cartridge Filter Material Comparison:

	Description	Traits
Wound Cartridges	Wire media wound tightly around the core in the center of the cartridge that effectively filters liquid or gas	Oldest type of cartridge filter, reliable, doesn't clog easily, cost effective
Pleated Cartridges	Manageable synthetic filter media that uses pleated design to increase surface area that is filtered	Low pressure drop, long life, infrequent need to replace cartridge
Melt Blown Cartridges	Depth filter that uses many different layers that are a variety of densities to filter highly contaminated liquid or gas	Hold large amounts of debris, cost effective, filters particles of a variety of sizes
Membrane Cartridges	Semi-permeable membrane used to create high purity liquid or gas by filtering all particles one micron and higher	Asymmetric pores, high flow rate, resistance to bacteria, extremely detailed filtration

الكيمائيات المضافة لوحدة التحلية: Chemicals add to R.O

سبب الإضافة	الكيمائيات المضافة
<p>لتطهير ماء التغذية (أو الماء المنتج)</p> <p>لتطهير ماء التغذية (أو الماء المنتج)</p> <p>لإزالة الكلور من ماء التغذية</p> <p>لمقاومة الترسبات (Anti Scale)</p> <p>لضبط الرقم الهيدروجيني ومقومة الترسبات</p>	<p>المعالجة الأولية:</p> <ul style="list-style-type: none"> - هيبو كلوريد الصوديوم (الهيبو) - أو كبريتات النحاس - بأي سلفات الصوديوم - هيكسا ميتا فوسفات الصوديوم - حامض الكبريتيك
<p>لتطهير الماء المنتج</p> <p>لضبط الرقم الهيدروجيني</p>	<p>المعالجة النهائية :</p> <ul style="list-style-type: none"> - هيبو كلوريد الكالسيوم / الصوديوم - الجير
<p>لضبط الرقم الهيدروجيني لمحلول التنظيف</p> <p>لضبط الرقم الهيدروجيني لمحلول التنظيف</p> <p>لإزالة الترسبات الكربونية والأكسيد</p> <p>لإزالة المواد العضوية والترسبات الميكروبيولوجية</p> <p>للتطهير والمحافظة علي الأغشية</p>	<ul style="list-style-type: none"> - التنظيف : - هيدروكيد الأمونيا / الصوديوم - حامض الهيدروكلوريك - حامض الستريك / الفوسفوريك / الأوكساليك - فوسفات الصوديوم الثلاثي - الفورمالدهايد

Reverse Osmosis Membrane Structures, and Materials

permeate

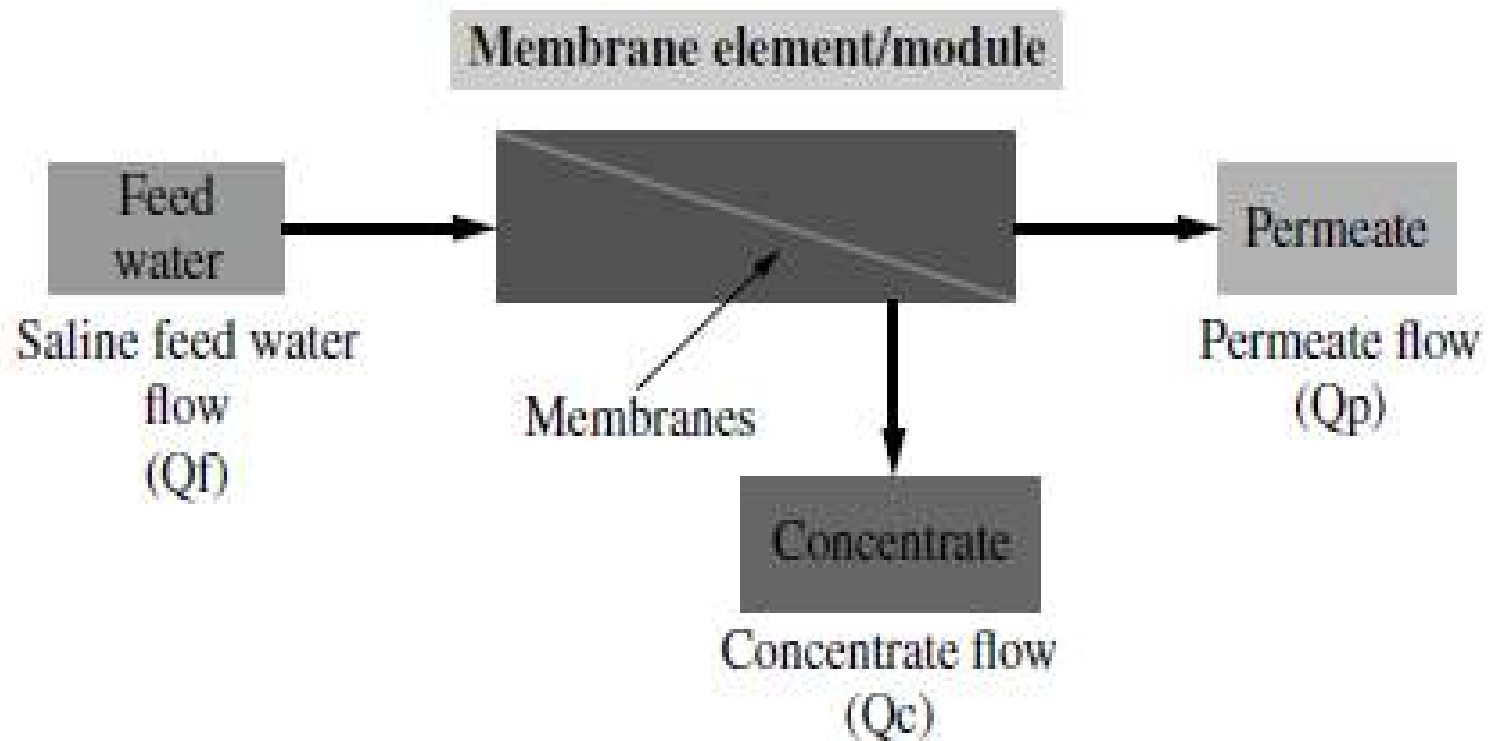


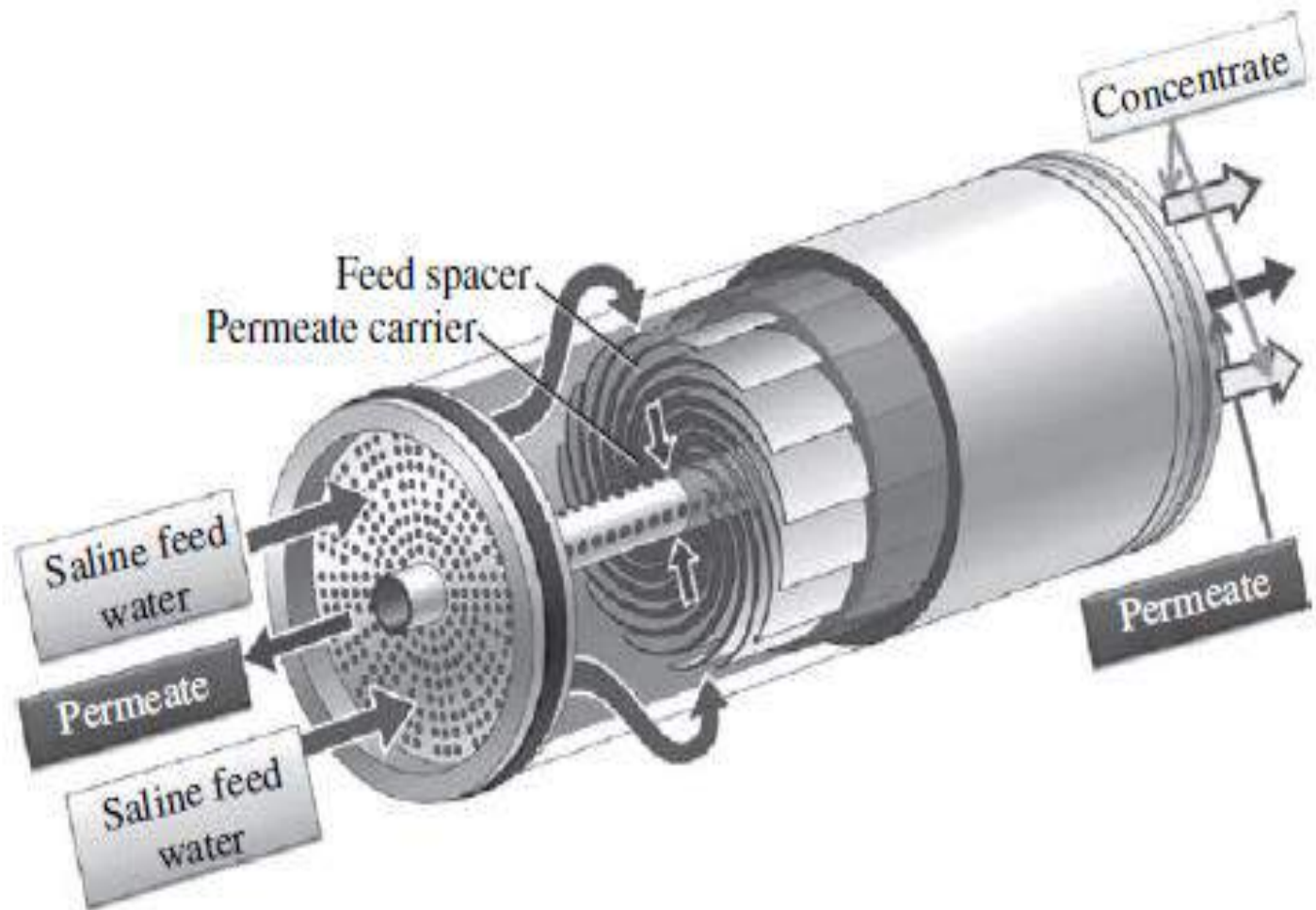
FIGURE 3.16 General schematic of an RO system.

Parameter	Cellulose	Polyamide Membranes	Acetate Membrane
Salt rejection		High (> 99.5%)	Lower (up to 95%)
Feed pressure		Lower (by 30 to 50%) High	High
Surface charge		Negative (limits use of cationic pretreatment coagulants)	Neutral (no limitations on pretreatment coagulants)
Chlorine tolerance		Poor (up to 1000 mg/L-hours); feed DE chlorination needed	Good; continuous feed of 1 to 2 mg/L of chlorine is acceptable
Maximum temperature of source water		High (40 to 45°C; 104 to 113°F)	Relatively low (30 to 35°C; 86 to 95°F)
Cleaning frequency		High (weeks to months)	Lower (months to years)
Pretreatment requirements		High (SDI < 4)	Lower (SDI < 5)
Salt, silica, and organics removal		High	Relatively low
Bio growth on membrane surface		May cause performance problems	Limited; not a cause of performance problems
pH tolerance		High (2 to 12)	Limited (4 to 6)

- **Note:** Mainly because of their higher membrane rejection and lower operating pressures, polyamide membranes are the choice for most RO membrane installations today. Exceptions are applications in the Middle East, where the source water is rich in organics and thus cellulose acetate membranes offer benefits in terms of limited membrane biofouling and reduced cleaning and pretreatment needs.

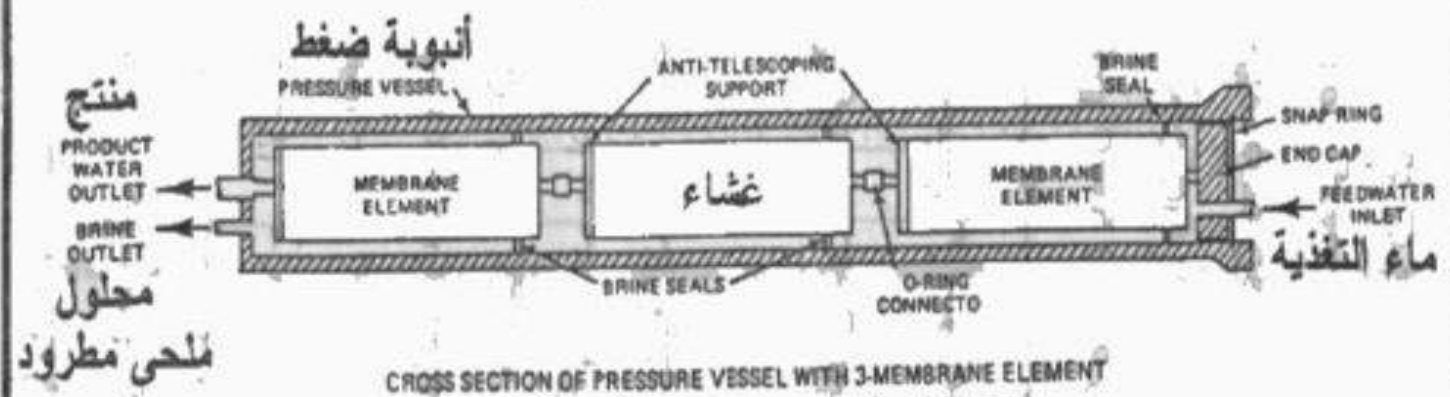
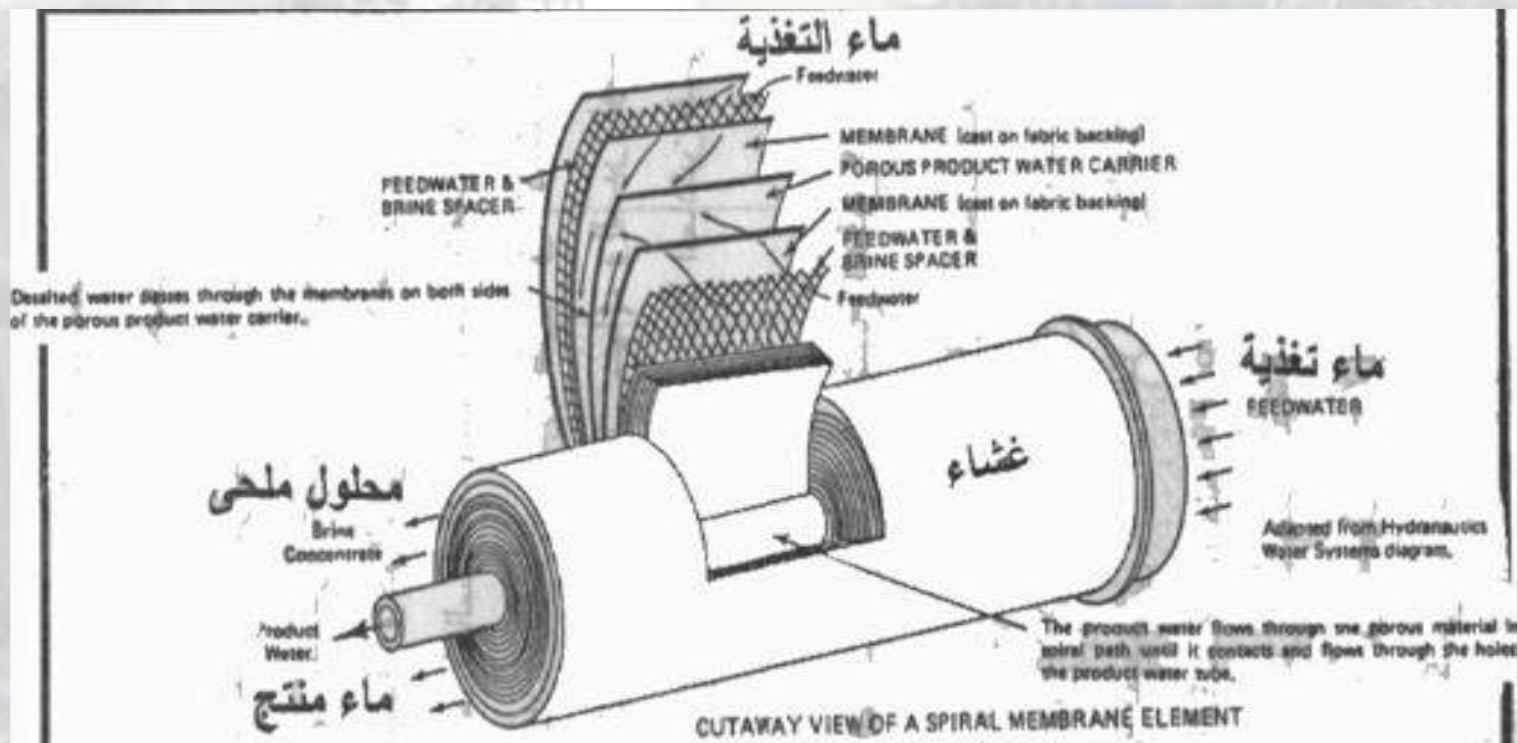
- بشكل رئيسي بسبب رفض الأغشية المرتفع وضغوط التشغيل المنخفضة ، فإن أغشية البولي أميد هي الخيار لمعظم تركيبات أغشية R.O اليوم. الاستثناءات هي التطبيقات في الشرق الأوسط ، حيث تكون مصدر المياه غنية بالمواد العضوية ، وبالتالي فإن أغشية أسيتات السليلوز تقدم فوائد أكثر من حيث التلف البيولوجي المحدود للغشاء وتقليل احتياجات التنظيف والمعالجة.

- Spiral-Wound RO Membrane Elements :



- Commercially available RO membrane elements are standardized in terms of diameter and length and usually are classified by diameter. Spiral-wound RO membranes are available in 2.5-in., 4-in., 6-in., 8-in., 16-in., 18-in., and 19-in. sizes. A typical 8-in. RO membrane element is shown in Fig. 3.12.
- At present, the most widely used and commercially available RO elements have a diameter of 20 cm (8 in.), length of 100 cm (40 in.) and brine spacer thickness of 28 mils (0.7 mm). Standard 8-in. seawater and brackish water elements in a typical configuration of seven elements per vessel can produce between 13 and 25 m³/day (3500 and 6500 gal/day) and 26 and 38 m³/day (7000 and 10,000 gal/day) of freshwater (permeate), respectively





مقطع في أنبوب ضغط بها ثلاثة أغشية

- **Nomenclature of elements <8 inches**
- The element nomenclature for elements is for example as follows:
- **TW 30 - 40 40**
- | | | | _____ Length of Element in inches
- | | | | _____ Diameter of Element, divided by 10, in inches
- | | | | _____ FT30 - Element Family
- | | | | _____ TW - Tap Water
- BW - Brackish Water
- SW - Seawater
- SWHR - Seawater High Rejection

- **NOTES:** Eight-inch elements are always 8 inches in diameter and 40 inches in length. They are named according to the actual active membrane area in square feet, for example the BW30-400 element has an active membrane area of 400 square feet.
- **Notes:** Some elements types have an extension to their name, e.g. FF or FR. These stand for special element or membrane features:
 - FR: Fouling Resistant
 - FF: Full fit

-
- **Membrane :**
- The following membrane types are used with FILMTEC elements:
- **NF270** – high productivity nanofiltration membrane for removal of organics with medium salt and hardness passage
- **NF200** – Nano filtration membrane for high atrazine and TOC rejection, medium calcium passage
- **NF90** – Nano filtration membrane for 90% salt removal, high removal of iron, pesticides, herbicides, TOC
- **NF** – Nano filtration membrane used in non-water applications
- **TW30** – High rejection brackish water **FT30** membrane, typically used for **Tap Water RO**
- **TW30LP** – ‘**Low Pressure**’ version of the TW30 membrane
- **BW30** – High rejection **Brackish Water FT30** membrane for brackish water RO
- **RO** – **Reverse Osmosis** membrane used in full fit elements for sanitary applications

- **HSRO** – **H**eat **S**anitizable version of the RO membrane used in fullfit elements
- **BW30LE** – ‘**L**ow **E**nergy’ version of the BW30 membrane
- **SG30** – **S**emiconductor **G**rade **FT30** membrane for ultrapure water RO
- **SG30LE** – **L**ow **E**nergy version of the SG30 membrane
- **XLE** – **E**xtremely **L**ow **E**nergy RO membrane for lowest pressure brackish water RO
- **SW30** – **S**ea **W**ater RO membrane, typically used for low salinity or cold seawater RO and high salinity brackish water RO
- **SW30HR** – **S**ea **W**ater RO membrane with **H**igh salt **R**ejection, typically used for single pass seawater desalination
- **SW30HRLE** – **S**ea **W**ater RO membrane with **H**igh salt **R**ejection, typically used for **L**ow **E**nergy seawater desalination
- **SW30XLE** – membrane for **S**ea **W**ater desalination with extremely **L**ow **E**nergy consumption

Utility Team USCE

Selection of Membrane according to the feed salinity

Low conc. Brackish water (up to 500mg/l)	: BWRO (Low energy)
Brackish water (up to 5,000 mg/l)	: BWRO (Standard)
Brackish water (more than 5,000 mg/l), Seawater	: SWRO

Parameter	SW(seawater) Membrane	1. BW(brackish water) membrane
Chem Product:	W 40-400 R	BW 30-400R
Size (Approximate):	8" Dia. x 40"L	
Flow Rate:	9,000 gpd (34.1 lpd)	10,500 gpd (40 lpd)
Applied Pressure:	800 psig (55 bar)	600 psig(41 bar)
Stabilized Salt Rejection:	99.85%	99.6 %
Minimum Salt Rejection:	99.7%	99.5
Boron Rejection:	93%	
Active Surface Area:	400 ft ² (37 m ²)	400 ft ² (37 m ²)
Single Element Recovery:	8%	
Feed Spacer:	34 mil	
Membrane Type	Thin Film Nanocomposite	Polyamide Thin-Film Composite (Filmtech)

- Standard and large-size spiral-wound thin-film composite PA membrane elements have limitations with respect to a number of performance parameters:

1-Feed water temperature (45°C).

2-pH (2 to 10).

3- Silt density index (less than 4).

4- Chlorine content (no measurable amounts).

5- Feed water operating pressure (maximum of 41 or 83 bar/600 to 1,200 lb/in² for brackish and seawater RO membranes, respectively).

• Types of membrane vessel: انواع اوعية الاغشية

1-Typical hollow-fiber vessel.

Contain only two membrane.

2-Conventional RO vessel.

Contain seven or eight element

- **Note:** As a result, a typical hollow-fiber vessel contains only two membrane elements but produces approximately the same volume of water as a (ينتج نفس كمية المياه) conventional RO vessel. These features make hollow-fiber membrane elements very suitable for high-salinity waters with elevated scaling potential, . Therefore, this type of membrane element configuration has found a wider application in the Middle East than in other parts of the world.

Membrane elements installed in pressure vessel:

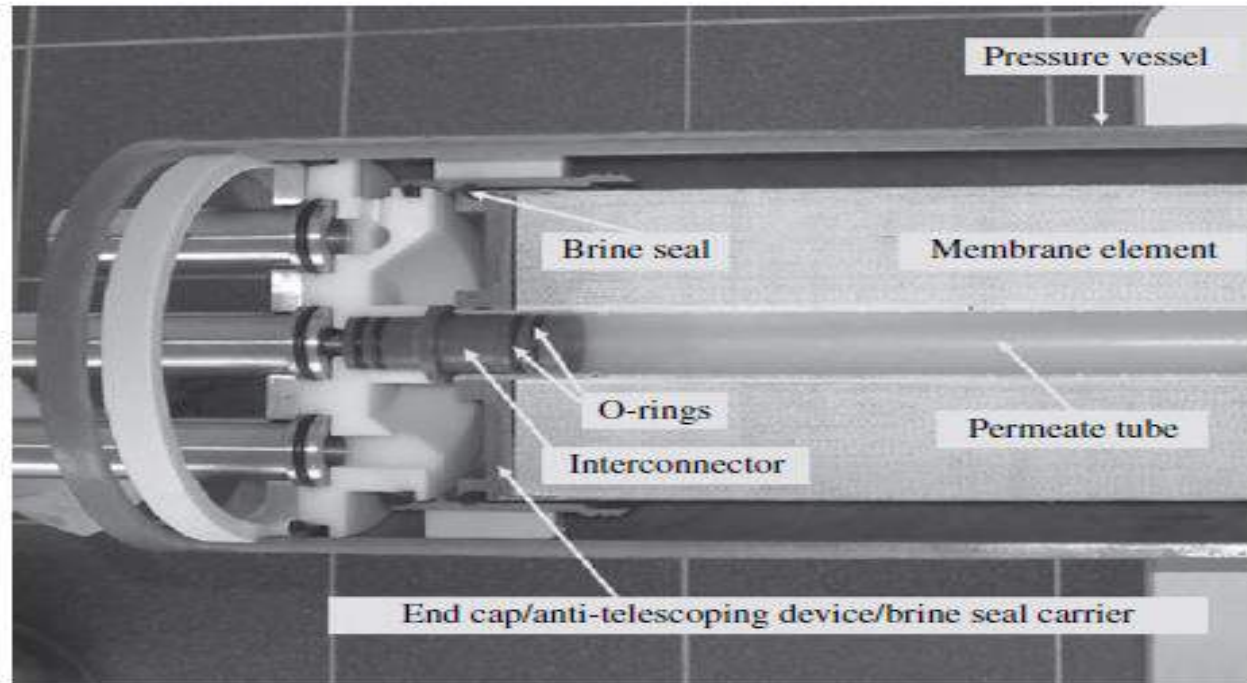
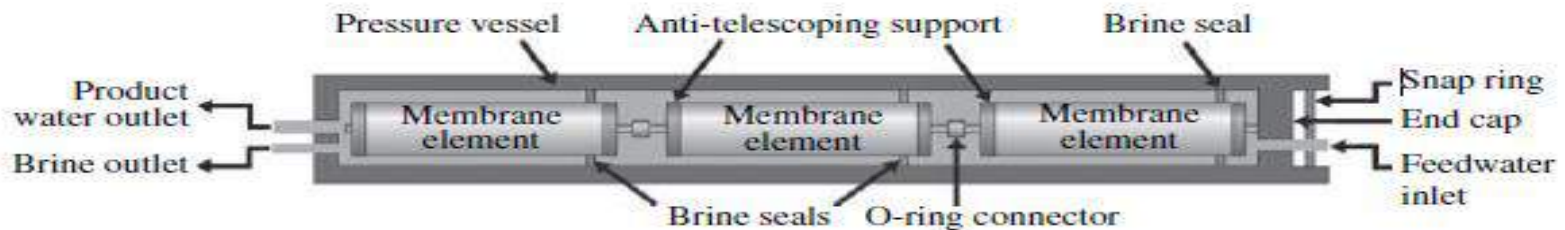


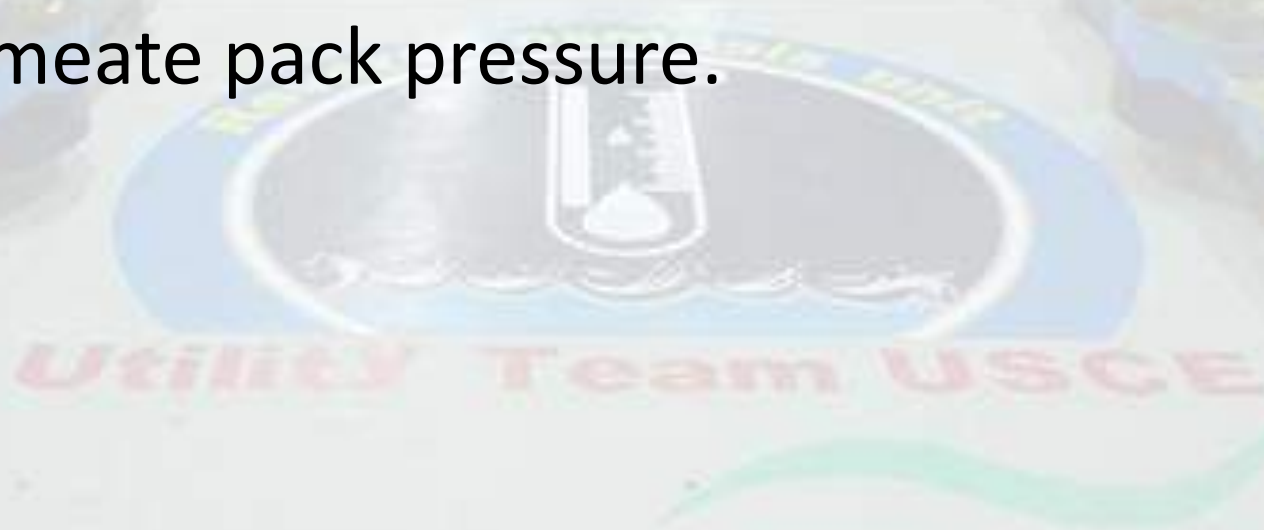
FIGURE 3.8 Cross-section of an RO membrane element installed in a pressure vessel.



- **Interconnector** :permeate collector tubes of the individual RO membrane elements installed in the pressure vessel are connected to each other and to the permeate line evacuating the fresh water from the pressure vessel.
- **Integral O-rings**: between interconnector that seal the connection points and prevent concentrate from entering the permeate collector tubes.
- **Interconnector with O-rings**: provide flexible connections between the elements, which allow for their limited movement within the vessel, for some level of flexibility in loading membranes and also facilitate handling transient pressure surges created in the vessels as a result of abrupt shutdown and start-up of the RO system

Parameter effect on membrane performance:

- 1-Sailinity.
- 2-Recovery.
- 3-Temp.
- 4-Feed pressure.
- 5-Preameate pack pressure.



- **Effect of Salinity on Membrane Performance:**

Higher feed water salinity reduces the net driving pressure (assuming that the system is operating at the same feed pressure and recovery) because of the increased osmotic pressure of the feed water, which in turn decreases permeate flux (freshwater production).

In terms of salt transport, an increase in feed water salinity increases the salt concentration gradient (ΔC in Eq. 3.11), which results in accelerated salt transport through the membranes and therefore, in lower salt rejection (deteriorating product water quality).

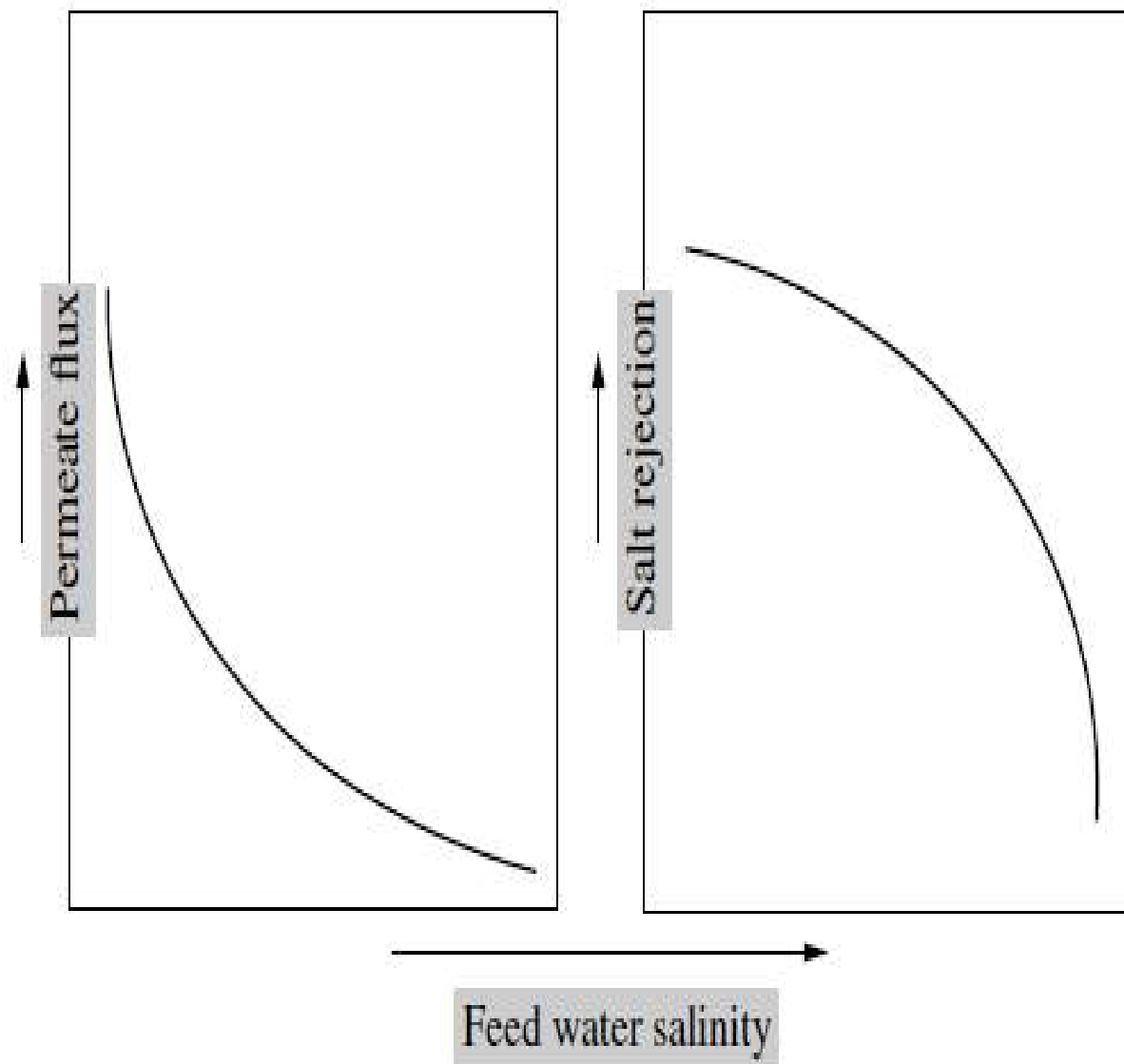


FIGURE 3.20 Effect of salinity on RO system performance.

Effect of Recovery on Membrane Performance: •

- an increase in recovery results in a slow decrease in permeate flux until it reaches the point at which osmotic pressure exceeds the applied pressure and NDP is inadequate to drive flow through the membrane; at that point, freshwater flow production is discontinued.



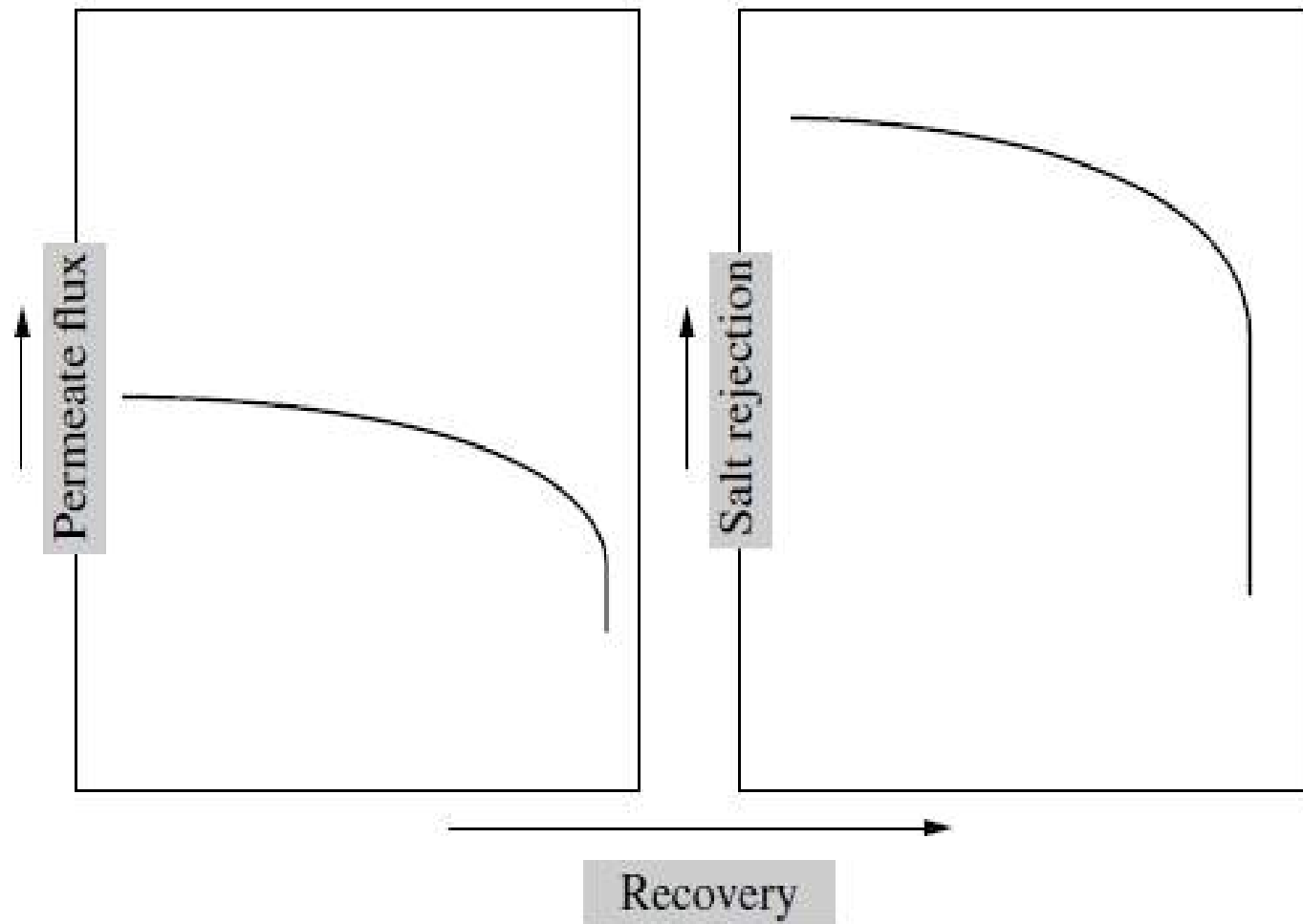


FIGURE 3.21 Effect of recovery on RO system performance.

- Effect of Temperature on Membrane Performance:
- The use of warmer water reduces saline water viscosity, which in turn increases membrane permeability. Some of this beneficial impact is reduced by the increase of osmotic pressure with temperature. However, the overall impact of temperature foremost membranes is typically beneficial. As a rule of thumb, the permeate flux increases by 3% for every 1°C of temperature increase. Because most RO membranes are made of plastic materials (polymers), warmer temperatures result in a loosening up of the membrane structure, which in turn increases salt passage (i.e., deteriorates permeate water quality).

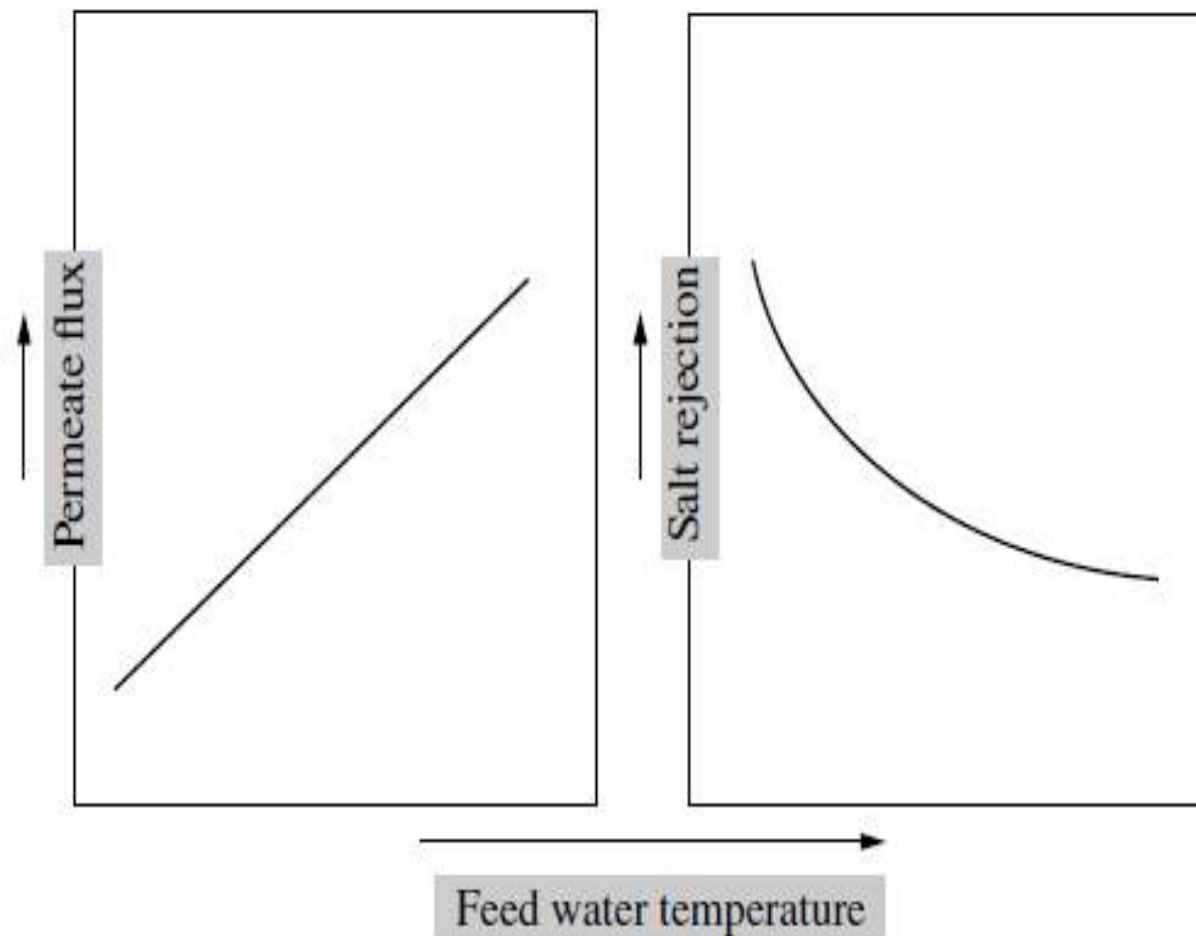


FIGURE 3.22 Effect of temperature on RO system performance.

- Effect of Feed Pressure on Membrane Performance:
- membrane flux (productivity) increases along with operating feed pressure at the same source water salinity and temperature. This occurs because the increase of feed pressure results in a proportional increase of the net driving pressure through the membrane (Fig. 3.23).

Utility Team USCE

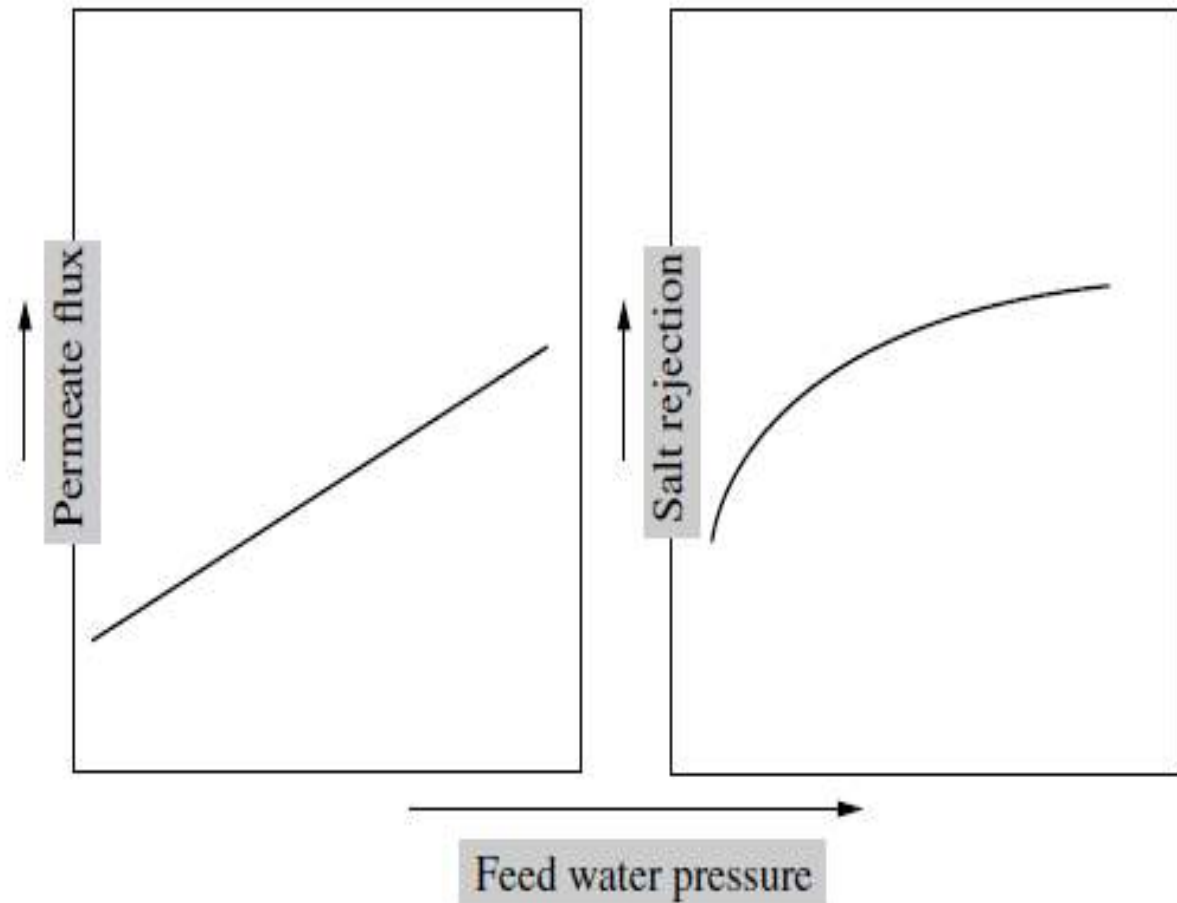


FIGURE 3.23 Effect of feed pressure on RO system performance.

- Effect of Permeate Back Pressure on Membrane Performance :
- would have a negative impact on plant performance. The amount of permeate back pressure is limited by the impact this pressure can have on the thin film—if the pressure is higher than 0.3 bar (4.3 lb./in²), then it may cause delamination of the thin-film membrane layer.

Utility Team USCE

- Reverse Osmosis Process Parameters:

معاملات عملية التناضح العكسي :

Osmotic Pressure : الضغط السموزي

Permeate Recovery:

Membrane Salt Passage:

Membrane Salt Rejection:

Net Driving Pressure (Transmembrane Pressure):

Membrane Permeate Flux:

Specific Membrane Permeability (Specific Flux)

- **Osmotic Pressure** : الضغط السموزي
- The osmotic pressure P_o of a given saline water is calculated by measuring the molar concentrations of the individual dissolved salts in the solution and applying the following equation:
- يتم حساب الضغط التناضحي P_o لمياه مالحة معينة عن طريق قياس التركيزات المولية للأملاح الذائبة الفردية في المحلول وتطبيق المعادلة التالية:

$$Op = R \times (T + 273) \times \sum mi$$

- **where:**
- **Op** = Osmotic pressure of the saline water (in bars—1 bar = 14.5 lb/in²)
- **R** = Universal gas constant [0.082 (L·atm)/(mol·K) = 0.0809 (L·bar)/(mol·K)]
- **T** = water temperature in degrees Celsius, and $\sum mi$ is the sum of the molar.

Seawater Constituents	Concentration, mg/L	Number of milligrams per mole	Molar Concentration (m_i), mol/L
Cations			
Calcium	403	40,000	0.0101
Magnesium	1298	24,300	0.0534
Sodium	10,693	23,000	0.4649
Potassium	387	39,100	0.0099
Boron	4.6	10,800	0.0004
Bromide	74	79,900	0.0009
Total Cations	12,859.6	—	0.5396
Anions			
Bicarbonate	142	61,000	0.0023
Sulfate	2,710	96,100	0.0282
Chloride	19,287	35,500	0.5433
Fluoride	1.4	19,000	0.0001
Nitrate	0.00	62,000	0.0000
Total Anions	22,140.4	—	0.5739
Total	TDS = 35,000 mg/L		$\Sigma m_i = 1.1135$ mol/L

TABLE 3.1 Molar Concentrations of Pacific Ocean Water Salts

Notes: Depending on the source water quality and temperature, the osmotic pressure may vary significantly from one saline source water to another.

- Permeate Recovery :

Due to mineral scaling, concentration polarization, and standard equipment and facility constraints, only a portion of the saline source water flow fed to the RO membrane system can be converted into freshwater (permeate).

- $Pr = (Q_p/Q_f) \times 100\%$

- Where :

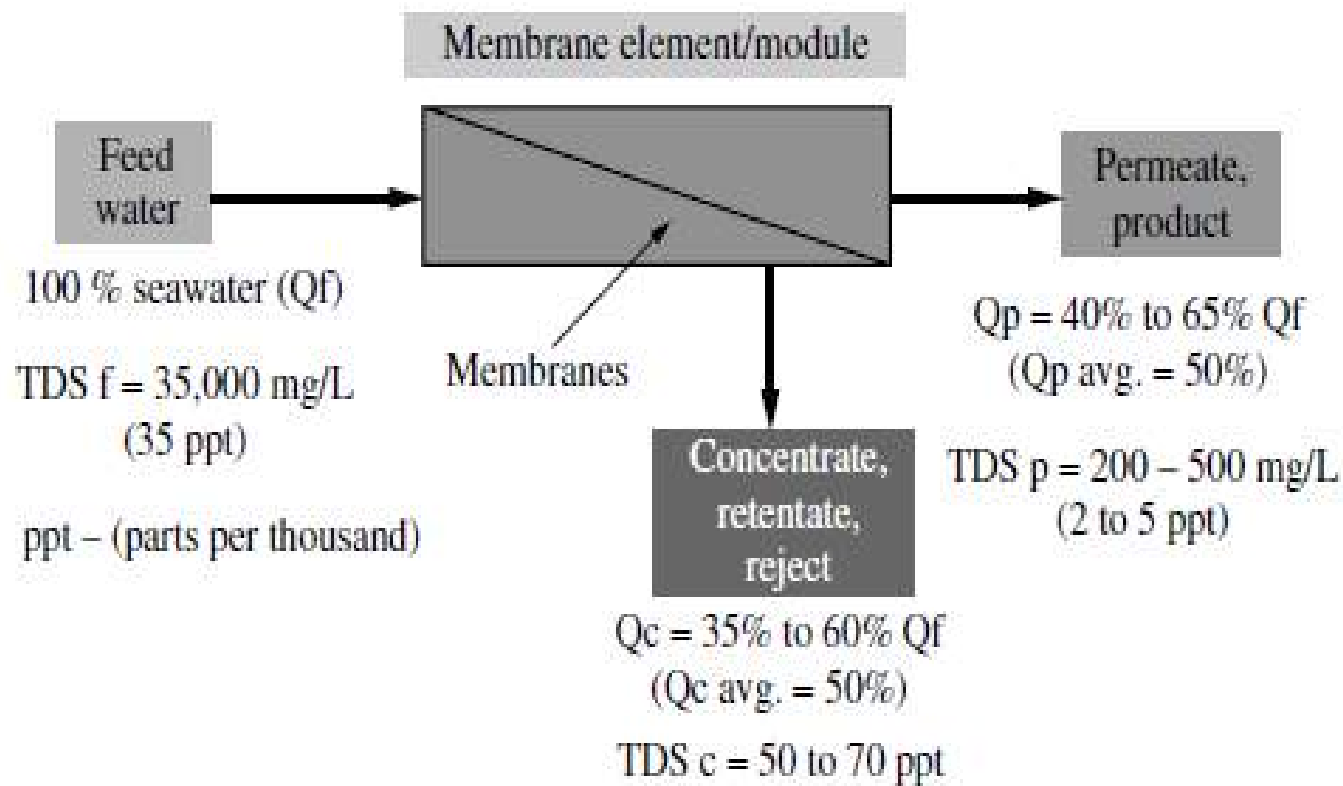
Pr = permeate recovery

Q_f = Feed flow

Q_p = permeate flow

- for typical *seawater reverse osmosis* (SWRO) systems the recovery rate is 40 to 65%.
- Brackish water desalination plants are designed and operated at higher recoveries (typically 65 to 85%).





$$\% \text{ Recovery} = \frac{\text{Permeate Flow } (Q_p)}{\text{Feed Flow } (Q_f)} \times 100 = \frac{50\% Q_f}{Q_f} = 50\%$$

FIGURE 3.17 Recovery of a typical SWRO system.

- Membrane Salt Passage :
- Salt passage Sp of a membrane is defined as the ratio between the concentration of salt in the permeate TDS_p and in the saline feed water TDS_f (see Fig. 3.17); it is indicative of the amount of salts that remain in the RO permeate after desalination.

- $Sp = (TDS_p / TDS_f) \times 100\%$

- Where:

TDS_p = concentration of salt in the permeate.

TDS_f = concentration of saline feed water.

- Membrane Salt Rejection :
- Salt rejection S_r is a relative measure of how much of the salt that was initially in the source water is retained and rejected by the R.O membrane
 - $S_r = 100\% - S_p = [1 - (TDS_p/TDS_f)] \times 100\%$



- Net Driving Pressure (Transmembrane Pressure)

Net driving pressure (NDP), also known as *transmembrane pressure*, is the actual pressure that drives the transport of freshwater from the feed side to the freshwater side of the membrane.

$$NDP = F_p - (O_p + P_p + 0.5P_d)$$

Where:

F_p = Applied Feed pressure.

O_p = osmotic pressure. (occure on the permeate side)

P_p = The permeate pressure existing in the membrane.

P_d = the pressure drop P_d across the feed/concentrate side of the RO membrane.

- **Membrane Permeate Flux :**

Is defined as the permeate flow a membrane produces per unit membrane area.

$$J = Q_p/S$$

- *Notes: The higher the quality of the source water applied to the membranes, the higher the acceptable design flux.*
- **Specific membrane permeability (SMP):** also known as specific membrane flux, is parameter that characterizes the resistance of the membrane to water flow.

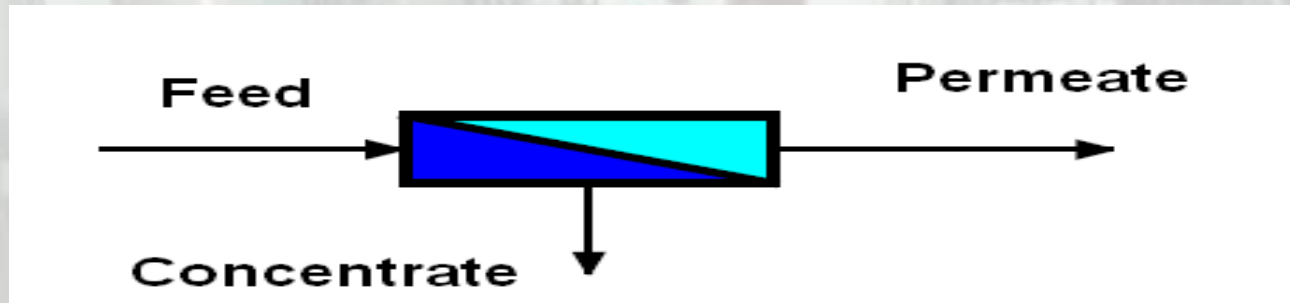
$$SMP = j/NDP$$

R.O Design:

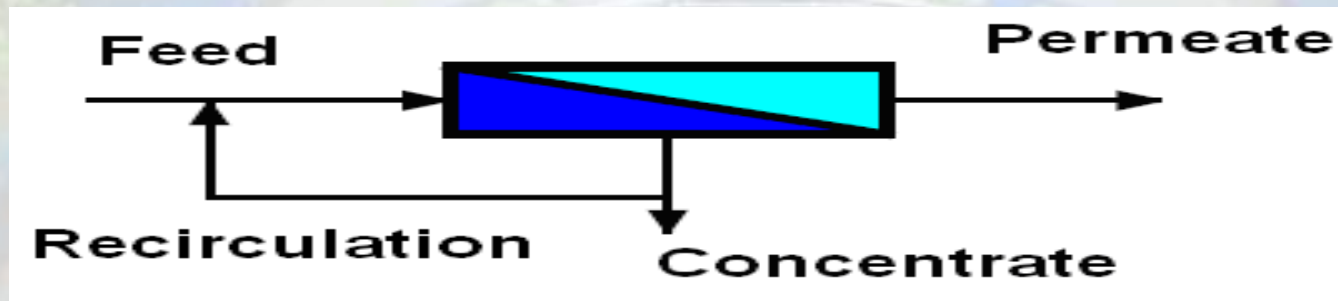
- The RO system includes a set of RO membrane elements, housed in pressure vessels that are arranged in a design manner. A high-pressure pump is used to feed the pressure vessels. The RO system is operated in crossflow filtration mode, not in dead end mode, because of the osmotic pressure of rejected solute.

Utility Team USCE

- **Single module system:**

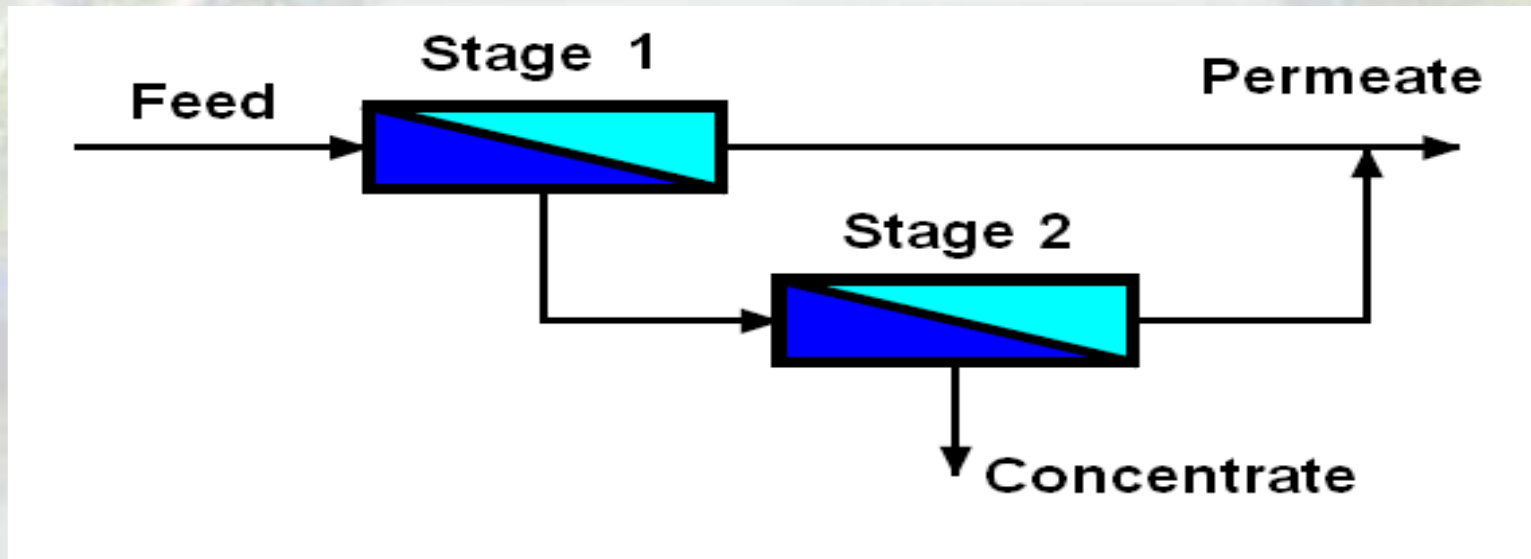


Single module system with concentrate recirculation



Multi-Stage System :

Systems with more than one stage are used for higher system recovery rates without exceeding the single element recovery limit. Usually two stages will be applied for recovery rate up to 75-80%.



- The relation between recovery rate and the stage number is as follows:
- 1 stage : < 50%;
- 2 stage : < 75-80%;
- 3 stage : < 85-90%

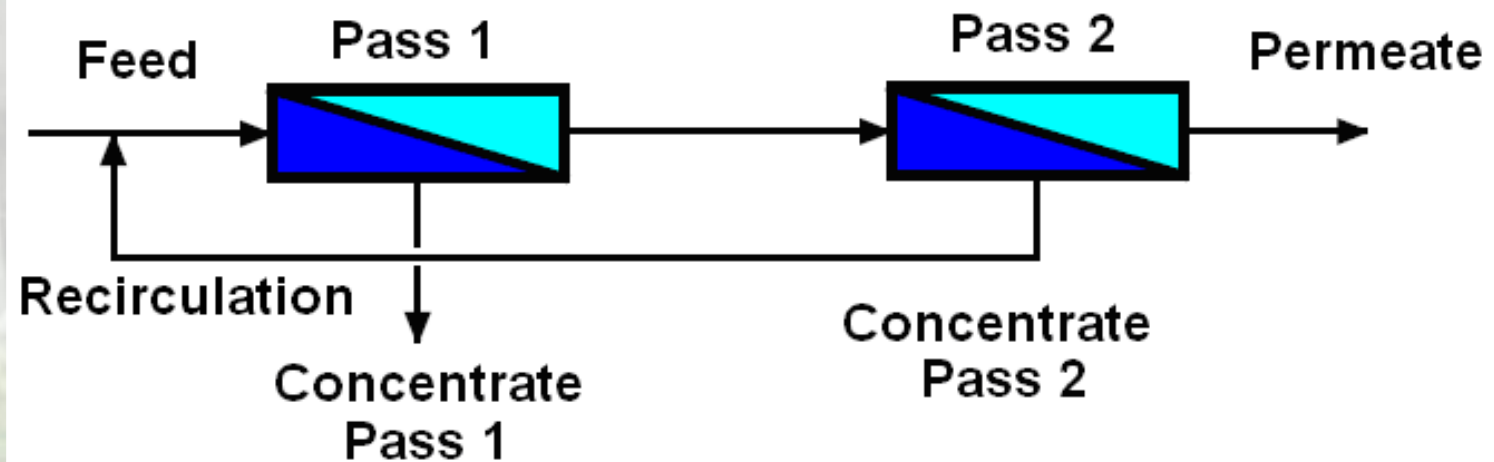


1 stage system: < 50%
<ul style="list-style-type: none"> • Usual recovery SWRO (< 50%)
2 stage system: < 75-80%
<ul style="list-style-type: none"> • Usual recovery BWRO (< 80%)
<ul style="list-style-type: none"> • High recovery SWRO (< 60%)
<ul style="list-style-type: none"> • High recovery 2nd pass (< 90%)
3 stage system: < 85-90%
<ul style="list-style-type: none"> • High recovery BWRO (< 90%)
<ul style="list-style-type: none"> • High recovery 2nd pass (< 95%) (special case)
SWRO: seawater desalination, BWRO: Brackish water desalination

Table 1.5: Relationship between recovery rate and number of RO stage

- **2 Pass RO System :**

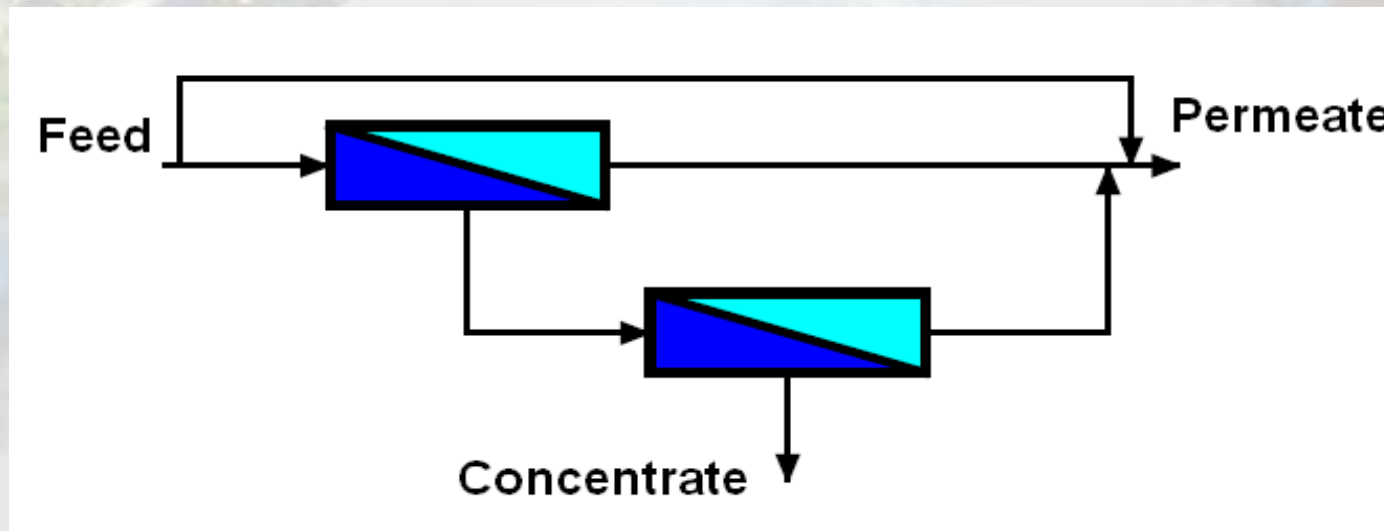
A 2 pass RO system is used if a very high permeate quality is required. In this system configuration, the permeate of the 1st pass RO is the feed of 2nd pass RO. The next Figure shows a schematic flow diagram of the 2 pass RO system. The concentrate of the 2nd pass RO is recycled back to the feed of 1st RO because its quality is usually better than the system feed water. And because the feed of the 2nd RO is high quality, the recovery of the 2nd pass RO can be as high as maximum (90-95%).



Utility Team USCE

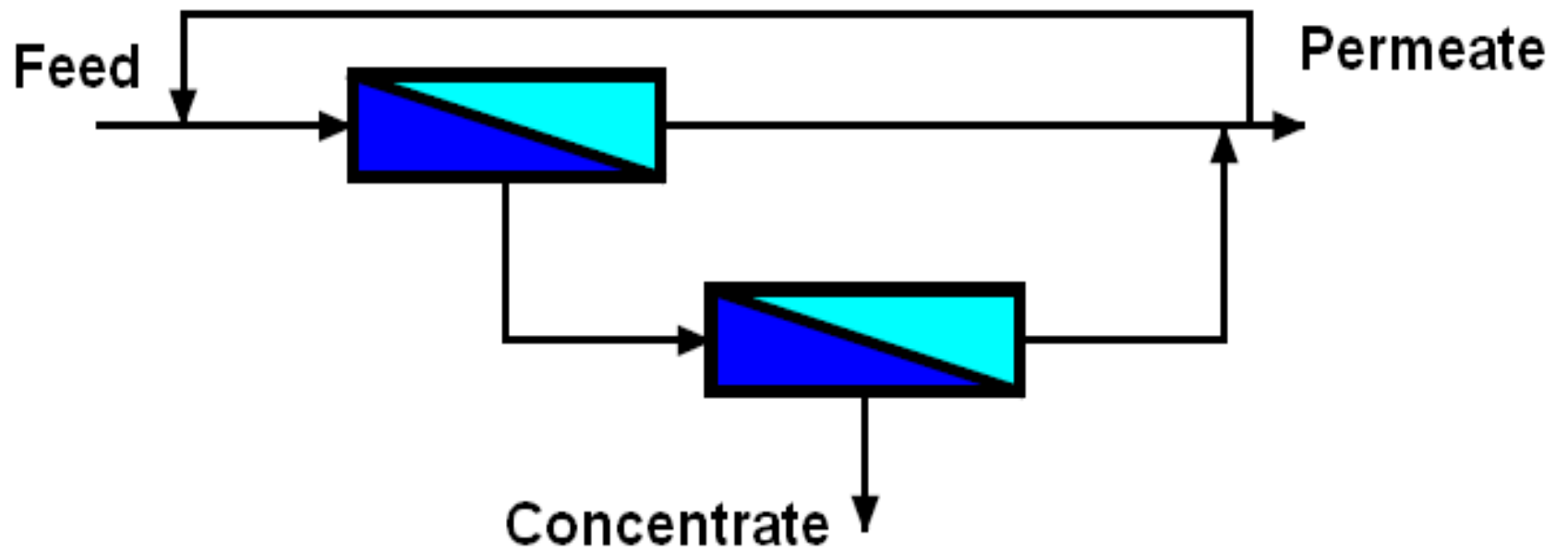
- **Permeate Blending with Feed Water :**

Permeate blending is adopted when a certain salinity of permeate is requested e.g. drinking water. In this case, some additional system feed water (blending flow) is taken and added to the permeate (shown in Figure).



- **Permeate Recirculation :**

In the case that the feed temperature greatly differs (e.g. summer and winter), the feed pressure should be changed to keep the permeate constant. This change in feed pressure may cause permeate quality instability. To prevent the instability, a part of the permeate is recycled and added to the suction side of the high-pressure pump (shown in Figure 1.6), when the permeate flow is higher than the estimated value. By keeping the feed pressure constant, the permeate quality is kept constant.



Utility Team USCE

- **Special Design possibilities:**

There are a number of special design possibilities for specific requirements:

- 1- Improve product quality:**

- Use part or all seawater elements for brackish feed water .
- Use seawater elements in one or both stages of a permeate staged system .
- Recycle permeate of last stage into feed .

Utility Team USCE

2- Increase system Recovery:

- Feed the concentrate to a second system, after specific pretreatment .

3-Obtain high system recovery and uniform permeate flow per element with medium salinity feed water:

- Use booster pumps between stages to compensate for osmotic pressure increase .
- Use declining permeate back pressure from first to last stage .
- Use hybrid system design with tighter membranes in the first stage than in the second stage, e.g. BW30 membranes in the first and XLE membranes in the second stage .

3-Produce different permeate qualities:

Separate the permeates from the different stages: the permeate from the first stage has the best quality—especially when the first stage is equipped with higher rejection membranes .

4- Reduce the plant capacity to obtain just the required permeate quality:

Blend the permeate with feed water .

5-Make provisions for later system extension:

- Use free space in pressure vessel (element spacer to replace element)
- Design module support racks to accommodate extra pressure vessels .

Types of membrane foulants

- Depending on their nature, membrane foulants can be classified as follows:

1- Particulate foulants (mainly suspended solids and silt).

2-Colloidal foulants.

3-Mineral scaling foulants(inorganic compounds)

4-Organic foulants (organic matter)

5-Microbial foulants.

Elements of performance evaluation of R.O unit of reverse osmosis

- The productivity of unit.(m³\h).
- The TDS of product.(mg\l)
(Salt reject, Salt passage , and recovery)
- Capital cost and running cost.
(Primary unit price, Operation, Maintenance, and the cost of 1m³ water product)
- The pressure and power of High pressure.
- The time of cleaning and change the membrane.

Reduction energy for SWRO

- **1-Pressure Exchanger Energy Recovery (PX).**
(35 to 40 % Energy Reduction);
- **2-Turbo Charger.**
(35 to 40 % Energy Reduction);
- **2-Use of Alternative RO Membrane Vessel Configurations.**
(10 to 15 % Energy Reduction);
- **3-Application of Large RO Trains/Pumps.**
(3 to 5 % Energy Reduction);
- **4- Use of warm power plant cooling seawater.**
(5 to 10% Energy Reduction).

Cleaning Requirement

- Decrease in productivity **by 10%** from normal productivity.
- Increase in salinity **by 10%** from normal salinity.
- Increase in differential pressure **by 15%** from normal>

Utility Team USCE

Cleaning Chemicals

<div>Foulant</div> <div>Cleaner</div>	Inorganic Salts (CaCO ₃ , CaSO ₄ , BaSO ₄)	Metal Oxides (Iron,)	Inorganic Colloids (Silt)	Silica	Biofilms	Organic
0.1 % NaOH & pH 12, 30°C Or 0.1 % Na ₄ EDTA & pH 12, 30°C				O	B	G
0.1 % NaOH & pH 12, 30°C Or 0.025 % Na-DDS & pH 12, 30°C			G		G	G
0.1 % STP & 1.0 % Na ₄ EDTA Or 0.1 % TSP & 1.0 % Na ₄ EDTA					G	
0.2 % HCl	B					
0.5 % H ₂ PO ₄	O	G				
0.2 % Citric Acid	O					
0.2 % NH ₂ SO ₃ H	O	O				
0.1 % Na ₂ S ₂ O ₂		G				

O: OK

G: Good

B: Best

الغسيل الكيميائي

NaOH	:	Sodium Hydroxide
Na-EDTA	:	Sodium Salt of Ethylene Diamine Tetraacetic Acid
Na-DDS	:	Sodium Salt of Dodecylsulfate.
Na ₅ P ₃ O ₁₀	:	Sodium Triphosphate (STP).
Na ₃ PO ₄ ×12H ₂ O	:	Trisodium Phosphate (TSP).
HCl	:	Hydrochloric Acid.
H ₃ PO ₄	:	Phosphoric Acid.
C ₃ H ₄ (OH)(CO ₂ H ₃):		Citric Acid
NH ₂ SO ₃ H	:	Sulfamic Acid.
Na ₂ S ₂ O ₄	:	Sodium Hydrosulfite.

حيث يستخدم الغسيل الحامضي لإزالة المواد الغير عضوية التي تشمل بعض المعادن

مثل الحديد، بينما يستخدم الغسيل القاعدي لإتساخات الناتجة عن المواد العضوية

لا يستخدم حامض الكبريتيك المركز في عملية الغسيل خوفاً من خطورة تكون ترسيبات

من مادة كبريتات الكالسيوم (Calcium Sulfate).

Permeate flow	Salt passage	Differential pressure	Direct Cause	In direct cause	Corrective action
↑	↑ ↑	→	Oxidation damage	Free chlorine, ozone, KMnO ₄	Replace element
↑	↑ ↑	→	Membrane leak	Permeate backpressure; abrasion	improve cartridge filtration
↑	↑ ↑	→	O-ring leak	Improper installation	Replace O-ring
↑	↑ ↑	→	Leaking Product Tube	Damaged during element loading	Replace element
↓ ↓	↑	↑	Scaling	Insufficient scale control	Cleaning Scale control
↓ ↓	↑	↑	Colloidal fouling	Insufficient pretreatment	Cleaning Treat improve
↓	→	↑ ↑	Bio Fouling	Insufficient pretreatment	Replace element

[illegible]

Protection of R.O unit

Parameter	Trip
Feed TDS	Measure the TDS of feed water and trip if exceed the programmed limit.
Feed Temp	If exceed to 35c trip the unit.
ORP	If residual chlorine > 0 Trip the unit.
Suction Pressure	Suction pressure low .
Discharge pressure	If exceed the programmed limit trip the unit.
Differential pressure	Between the feed pressure and concentrate pressure (Membrane Dp)
Product TDS	If exceed the programmed limit trip the unit.
Chemical injection pumps	Trip the unit if the injection pumps off or trip.
H.P pressure pump	1-Trip the unit if the pump trip..... 2-Exceed the time of start up.

Thanks

